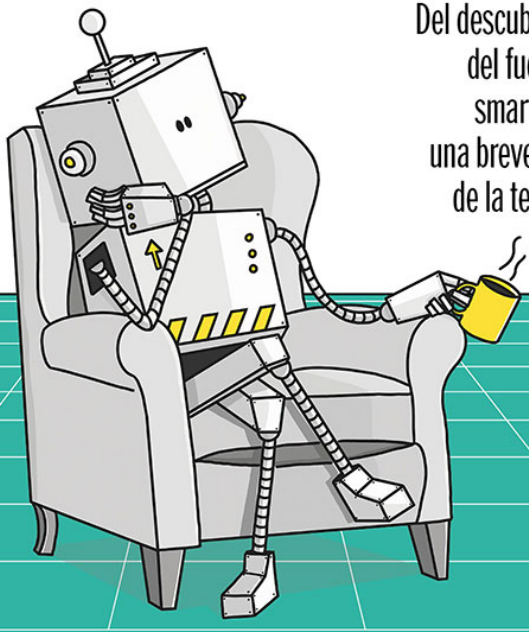
Del descubrimiento del fuego a los smartphones: una breve historia de la tecnología



LO QUE SUEÑAN LOS ANDROIDES

DAVID CALLE

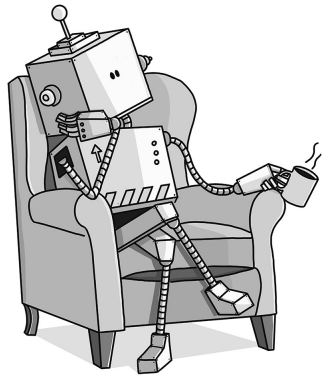
AGUILAR

DAVID CALLE

LO QUE SUEÑAN LOS ANDROIDES

AGUILAR

A Marta, que estoy seguro encontrará dentro de sí,
en medio del invierno, en medio del caos,
un verano invencible.



15 de diciembre de 2056 - 6.21 p.m.

El sol se oculta tras el volcán Hengill. No hay mucho que hacer en Nesjavellir, Islandia, a estas horas, más allá de consultar la previsión meteorológica con la esperanza de que hoy no haya excesiva nubosidad y el índice KP supere el nivel cuatro. O tres, con eso ya me sería suficiente.

Hoy no habrá suerte. El índice de nubosidad es del 80 %, el KP es solo de 2,33. Con tantas nubes se antoja imposible. Porque si el índice KP, el índice geomagnético que cuantifica las alteraciones del campo magnético terrestre durante un intervalo de 3 horas, es mayor de 4 (nada desdeñable, el máximo es 9) y, sobre todo, no hay nubes, mis posibilidades de volver a ver hoy la aurora boreal serán al menos esperanzadoras.

Perdonadme, no me he presentado. Me llamo Hans, me gusta creer, siendo islandés, que en honor a uno de los tres protagonistas, junto con Otto y Axel, de *Viaje al centro de la Tierra*, de Julio Verne, que empezaba aquí, en mi tierra, en el volcán Snaefellsjökull.

Pero no, el origen de mi nombre no responde a razones tan, digamos, románticas. Son las siglas de HANS (Heuristic Android non Sensitive). Soy un androide. Superior en fuerza y agilidad y al menos igual en inteligencia que los ingenieros que me crearon. Con tal grado de desarrollo y perfección que somos prácticamente indistinguibles de los humanos. Replicante me llamaban, al parecer por una película de 1982 de un director de cine llamado Ridley Scott. *Blade Runner*, se

llama, basada en una novela de Philip K. Dick, *¿Sueñan los androides con ovejas eléctricas?*

En la película, en 2019, ambientada en Los Ángeles, en una Tierra contaminada por las guerras radiactivas que acabaron con casi toda la fauna y la flora, los gobiernos alientan fuertemente el exilio al planeta Marte que está siendo colonizado. Para promover las salidas, ofrecen gratuitamente un replicante Nexus-6 a cualquiera que se vaya a Marte. La humanidad en la Tierra está prácticamente extinguida.

Es irónico, pero los ingenieros que me crearon ya no están con nosotros y la humanidad en la Tierra está totalmente extinguida. Por mi parte, estoy al cargo de la segunda central geotérmica más grande de Islandia. Mientras sea capaz de mantenerla en funcionamiento generará suficiente energía eléctrica para mi recarga nocturna y que todo siga funcionando como debe.

Completamente solo y aislado debo decir. Y por eso puede parecer nimio, pero para alguien que se encarga 19 horas diarias de que toda una central geotérmica siga operativa, preocupado en todo momento de alarmas programadas, indicadores, cuadrantes y cifras, tener alguna noche la oportunidad de contemplar las caprichosas luces del norte es de las pocas cosas que consiguen abstraerme de la rutina diaria. Los días, los meses y los años son eternos aquí. El tiempo en Islandia transcurre muy despacio.

Hace años que hasta aquí no llega red de telecomunicación alguna. Al menos me quedan miles de pódcasts y archivos, rescatados de la nube hace ya dos décadas. Hoy comienzo una nueva serie, sobre la historia de la ciencia y la tecnología pasadas. Forman parte de los guiones para futuros vídeos de un profesor español, David Calle, para su canal de YouTube (al parecer una red social de contenido audiovisual que operaba allá por la segunda década del siglo XXI). También incluye extractos de su diario personal sobre aquel fatídico verano de 2046. No recuerdo la primera vez que estos pequeños cuadernos de bitácora virtuales forman parte de mi ocio y casi podría decir de mis sueños…

Solo queda cerrar los últimos protocolos de seguridad y control e irse a descansar. Temperatura OK. Ciclo de carga activado. Presión bárica en los parámetros de seguridad normales… Todo controlado. Mañana será de nuevo un día muy largo, aunque afortunadamente en estas fechas, las horas de luz son menos…

Activo la consola de sueño, descargo el primer módulo, «¿Qué es la

tecnología?». ¿En serio? No sé si la unidad de sueño está siendo despiadadamente irónica. Mi trabajo diario, mi rutina habitual podría decirse que es solo tecnológica.

Downloading, 89 %… Unos segundos más, empezamos…

1

¿QUÉ ES LA TECNOLOGÍA?

Cuando nos adentramos en la sección de tecnología de un centro comercial encontramos ordenadores portátiles ultraligeros, cables USB, *smartphones* de última generación, cámaras especiales para *youtubers*, discos duros externos, *tablets* de diferentes tamaños, teclados, *smartwatches*, escáneres, impresoras, auriculares, pulseras biométricas, etcétera. Solemos asociar la tecnología a eso, a los últimos *gadgets* electrónicos que, para bien o para mal, han colonizado nuestra vida y mediatizan casi todos sus aspectos. Uno de los mayores horrores de la vida contemporánea es quedarse sin batería o sin conexión, como si nos perdiéramos en una dimensión desconocida de la realidad, lejos del mundo y de nuestros congéneres. Pero la tecnología es un concepto mucho más trascendente. Y mucho más antiguo.

Un día muy lejano, hace decenas de miles de años, un homínido cualquiera chocó una piedra contra otra y creó un cuchillo de sílex. Tal vez aquel tipo creara así el primer *gadget* tecnológico con el que cortar carne, desollar animales o raspar otros objetos sin necesidad de wifi ni de un enchufe. Podríamos decir que la tecnología es aquello que el ser humano crea para adaptarse al entorno, para cubrir sus necesidades, pero también para colmar sus deseos. La palabra tecnología viene del griego *tekne* (técnica u oficio) y *logos* (ciencia o discurso).

La tecnología, pues, no es solo la que nos llega de Silicon Valley, sino

también aquella prehistórica de los albores de nuestra especie en la que los humanos convertían los recursos naturales de los que disponían en herramientas simples. El arco y la flecha, por ejemplo, fueron creados hace más de 30.000 años, y conforman un inteligente sistema tecnológico que consigue recoger la energía generada por el brazo humano tensando la cuerda del arco para luego transferirla a una flecha, que sale disparada a gran velocidad contra su objetivo (si es que tenemos buena puntería, eso es más difícil).

Este tipo de artefactos nos aportaron una ventaja fundamental para conseguir cazar (y también la tentación de pelearnos entre nosotros). A lo largo del tiempo, el arco y la flecha irían perfeccionándose, alcanzando el proyectil cada vez más velocidad y distancia. Incluso llegó a convertirse en deporte olímpico, y nos regaló además un momento histórico (y afortunadamente más lúdico), como cuando Antonio Rebollo encendió el pebetero de los Juegos Olímpicos de Barcelona 92 en su ceremonia inaugural. Cuando prendió el fuego de la llama olímpica, todos los que tuvimos la suerte de presenciarlo vivimos uno de los momentos de nuestras vidas, sin duda.

El fuego… ya no solo nos protegía de los depredadores y nos daba calor, sino que nos permitió disfrutar de una mejor alimentación al cocer o cocinar la carne y algunos vegetales y hongos. Al poder hervir el agua no solo eliminábamos los patógenos que pudiera contener, sino que además aumentábamos el valor nutricional de los alimentos, podíamos obtener más energía. Al cocinar, las fibras más duras se ablandan, se optimiza el proceso de masticar y digerir y podemos obtener así más calorías de los mismos alimentos, indispensables para nuestro día a día, calorías además que demanda constantemente nuestro cerebro. Por eso, como sugiere Suzana Herculano-Houzel, del Instituto de Ciencias Biomédicas de la Universidad Federal de Río de Janeiro (Brasil), podríamos decir que cocinar nos hizo humanos. Gracias a ello, afirma, el tamaño del cerebro del *Homo erectus* se duplicó a lo largo de 600.000 años.

Cocinar nos proporcionó la nutrición necesaria para desarrollar cerebros más grandes y más tiempo que dedicar a cosas más importantes. En el caso de los gorilas o chimpancés, cuya dieta se basaba en alimentos crudos, y debían dedicar muchísimas horas a la búsqueda de alimentos, no ocurrió lo mismo. Podríamos decir que fue nuestro primer gran éxito como civilización.

El segundo, quizá, la invención de la rueda… Nos permitió movernos

más rápidamente, con más facilidad, más lejos: se mejoraron las comunicaciones, el transporte de mercancías y pudimos acceder a territorios más lejanos, a más lugares donde asentarnos u obtener recursos. Luego vendrían el hormigón, la pólvora, la brújula… Y así, a través de los milenios, hasta TikTok… La tecnología está en los objetos más complejos que ha creado el ser humano, pero también en los más simples que utilizaron los pioneros de nuestra especie. Un anzuelo, una aguja de coser, una red, la rueda de un molino, un horno de cocción, la forja de metales, una polea… La lista es infinita, aunque a veces nos olvidemos de las cosas más simples.

Hoy en día, si miramos alrededor, casi todos los objetos que nos rodean han sido ideados por ingenieros y desarrollados gracias a algún proceso tecnológico. El PVC de las ventanas, el sistema eléctrico de nuestras casas, los electrodomésticos, la pintura que recubre las paredes, los aparatos de diagnóstico de cualquier hospital, los tejidos de los que está hecha la ropa, la máquina de café expreso, los coches que pasan por la calle y los semáforos a los que obedecen, el terminal punto de venta que nos cobra en el supermercado, los *smartphones* con los que la gente pasa el día hipnotizada. No solo lo que se ve: en el rango de las cosas invisibles, el espacio en el que vivimos está traspasado de ondas electromagnéticas de todo tipo, en las que cabalgan nuestras comunicaciones y nuestro entretenimiento, en forma de wifi, radio, señales de GPS, teléfono o televisión. En nuestra civilización, hoy, todo es tecnología.

LA TECNOLOGÍA, LA TÉCNICA Y LA HISTORIA

Recuerdo mis primeros años en la universidad, cuando jugábamos a videojuegos pixelados. Y recuerdo sobre todo *Civilization*, de Sid Meier, la de horas de estudio que pudo robarme, que no se enteren mis padres. No son pocos los que en el futuro se inspiraron en él (desde *Age of Empires* hasta *SimCity,* decenas de juegos más en la actualidad…). En aquel juego la tecnología era clave, partiendo de una civilización ancestral, tras conseguir materias primas como el oro, el hierro o la madera. Así pasábamos de descubrir la alfarería a mandar naves espaciales al espacio exterior: el descubrimiento de cada tecnología te aportaba una ventaja esencial con respecto al resto y dependía, no podía ser de otra manera, de los descubrimientos anteriores. Porque el desarrollo científico y tecnológico,

como sucede en la realidad, es acumulativo.

Por lo general, las civilizaciones más avanzadas tecnológicamente en el videojuego *Civilization* podían someter con facilidad a las otras: esas solían ser las ganadoras. En el mundo real, en la historia de la humanidad, ha pasado algo parecido: las potencias que han dominado la ciencia y la tecnología en algún momento en concreto lograron auparse sobre las otras y crear vastos imperios. Los conquistadores españoles sometieron a los imperios azteca o inca gracias a su superior tecnología bélica (y a, tristemente, los gérmenes que transportaban), lo mismo ocurrió con todos los procesos de colonización que cambiaron la faz del planeta en el siglo XIX. El llamado primer mundo, los llamados países desarrollados, son los que consiguieron iniciar antes y con mayor eficiencia algún tipo de proceso tecnológico superior y diferenciador. No se aleja mucho de lo que ocurre hoy en día. Los países a la vanguardia de los últimos avances tecnológicos, o que apuestan más fuertemente por ellos, suelen tener la sartén por el mango y representan «mejores» niveles de vida. Si China va a ser (si no lo es ya) la próxima primera potencia mundial, sustituyendo a Estados Unidos, es en parte porque ha conseguido ponerse a la altura en su desarrollo científico y tecnológico: hace unos años nos sonaría raro que empresas chinas como Huawei o Lenovo, contra el poderío estadounidense, fueran líderes en sectores como los *smartphones* o los ordenadores. Es curioso, por tanto, el desinterés que muestran algunos gobiernos por el desarrollo de la investigación, como si la ciencia y la tecnología no fueran con ellos, entes demasiado complejos, algo que tienen que hacer los demás. «¡Que inventen ellos!», como decía Miguel de Unamuno.

Algunos filósofos distinguen entre los términos técnica y tecnología, aunque a veces se usen como sinónimos. La técnica serían los procedimientos que se desarrollan de forma natural sin necesidad de conocimiento científico. Por ejemplo, los antiguos herreros no sabían demasiado de las leyes de la física y la química a la hora de forjar espadas, su oficio discurría dentro del mundo de la técnica, trabajaban con el fuego y el metal guiados por la intuición, la prueba y el error, el conocimiento transmitido por generaciones anteriores. La tecnología, en cambio, procede directamente de la aplicación del conocimiento científico. Es el caso de la tecnología electrónica, que bebe directamente de la física cuántica o la física de semiconductores, las teorías que llevaron, por ejemplo, a Bardeen, Shockley y Brattain a desarrollar el transistor,[1] el ingenio por el que recibieron el Premio Nobel de Física en 1956 y que sería el pilar de toda la

tecnología electrónica que ahora disfrutamos.

Y cuando nos referimos al transistor, no es en relación con los aparatos de radio que formaban parte del día a día de todos los hogares en el siglo xx, sino a los componentes electrónicos semiconductores que forman parte de los chips y circuitos integrados que rigen la mayoría de nuestros dispositivos electrónicos.

En el momento de su invención se buscaba un conmutador en estado sólido que pudiera ser utilizado en telefonía y reemplazara a los relés y válvulas de vacío utilizados hasta la fecha en la amplificación de señales, indispensables para transmisiones a larga distancia, pues era imprescindible amplificarlas cada cierta distancia para que llegaran a su destino con la potencia necesaria. Las válvulas de vacío resultan poco fiables, consumían mucha potencia y disipaban mucho calor.

En las navidades de 1947, tres ingenieros de los Laboratorios Bell de la AT&T dieron con la solución, que mantuvieron en secreto hasta el 30 de junio de 1948, al fabricar un prototipo de reducido tamaño y gran fiabilidad que amplificaba las señales eléctricas, aprovechando las propiedades físicas y eléctricas de dos semiconductores: el germanio y, sobre todo, el silicio. No es de extrañar por eso que, desde el momento, en el que Shockley abandonara los Bell Labs para fundar Shockley Semiconductors en Palo Alto, California, para tratar de explotar comercialmente su invención (que recibió muy poca atención en su momento), ese pequeño enclave junto a la bahía de San Francisco, pasara a conocerse como Sillicon Valley, lugar donde hoy se concentran la mayoría de las empresas tecnológicas más importantes del mundo, como Google, Apple, Intel o Microsoft. Debido a la difícil personalidad de Shockley, ocho de sus mejores y más brillantes científicos (conocidos en su momento como «los ocho traidores») fundaron poco después Fairchild Semiconductors. Y dos de ellos, Bob Noyce y Gordon Moore, fundaron más tarde Intel Corporation, que hoy día produce miles de millones de transistores a diario para sus circuitos integrados. Tu ordenador, seguramente, tiene un INTEL en su interior.

Pero regresemos a la disyuntiva entre técnica y tecnología. En el ámbito de la primera se sabe cómo se hacen las cosas, aunque no se sabe muy bien por qué se hacen así. En el ámbito de la tecnología, gracias a la ciencia, sabemos el porqué de cualquier solución tecnológica. Según algunas visiones, lo tecnológico sería una mezcla de lo científico y de lo técnico: lo

científico-técnico.

Hay casos curiosos en los que la técnica precede a la ciencia: las máquinas de vapor de finales del siglo XVII, desarrolladas sin el concurso científico, a partir de las cuales los investigadores de la época consiguieron poner en pie la termodinámica.

Ya en el siglo I el ingeniero griego Herón de Alejandría inventó la eolípila, considerada la primera máquina de vapor de la historia, capaz de transformar la energía térmica en mecánica, generando un movimiento. Durante siglos solo se consideró un juguete o un entretenimiento, hasta que en 1775, basándose en los mismos principios, pero también con todo el peso de la ciencia, la práctica y los conocimientos adquiridos hasta entonces, Boulton y Watt patentaron la primera máquina de vapor práctica, que se convirtió en una de las fuerzas impulsoras de la Revolución industrial.

Hasta finales del siglo XVIII la máquina de vapor no empezó a tener éxito comercial. Thomas Savery (c. 1650-1715) realizó una primera patente en 1698 con un motor capaz de elevar agua por medio del fuego. A través de este primer desarrollo, Thomas Savery se convirtió en el inventor de la máquina de vapor comercial. Aunque, como veremos, con el paso del tiempo esta máquina sufriría numerosas e importantes modificaciones.

El funcionamiento de la máquina de vapor de Thomas Savery se basaba en un sistema que permitía bombear el agua de una mina utilizando la fuerza del vapor. Por esta razón se le dio el nombre de «la amiga del minero». No obstante, esta máquina de vapor tenía una gran limitación, ya que representaba graves riesgos de explosión.

Catorce años más tarde, su socio Thomas Newcomen inventó, a partir de los bocetos de su amigo, un mecanismo que utilizaba vapor a menos presión. De esta manera, Newcomen creó una máquina capaz de utilizar el vapor de agua para mover un pistón hacia adelante. Sería la presión del aire la que permitiría forzar dicho pistón hacia atrás. Este movimiento del pistón fue utilizado para accionar tanto bombas de agua como muchos otros ella tipos de sistemas.

LA MÁQUINA DE VAPOR DE JAMES WATT

Años más tarde, en 1769, fue Watt quien patentó la máquina de vapor como tal. Es por ello que algunos lo consideran el inventor real. Con ella,

introdujo mejoras sustanciales a las anteriores, aunque todavía utilizaban la fuerza del vapor de forma muy poco eficiente.

Pero entre las mejoras tecnológicas que aportaba su diseño, James Watt incluyó una gran modificación, pues se dio cuenta de que, en la máquina de Newcomen, se perdía mucho calor. Así, este ingeniero escocés ideó un sistema que permitía aprovecharlo mejor para hacer evaporar más agua. Al hacerlo, Watt creó una máquina de vapor mucho más económica y eficiente.

Si el transistor puede considerarse el invento más importante del siglo pasado y marcó el comienzo de la era de las comunicaciones, la máquina de vapor fue la protagonista indiscutible del siglo XIX, la principal responsable de la Revolución industrial.

Y no hace falta recurrir a grandes e icónicos inventos. La agricultura, pura técnica inicialmente, originada en el periodo Neolítico cuando el ser humano aprendió a tratar el suelo y cultivar la tierra, se ha tecnificado de forma exponencial con el tiempo. Ahora podríamos hablar de *Smart farms* y granjas inteligentes pero no hace muchas décadas, allá por 1960, se produjo la llamada Revolución verde, que cambió radicalmente la productividad de nuestros cultivos.

Durante una década el arquitecto agrónomo estadounidense Norman Borlaug se dedicó a realizar cruces selectivos de variedades de trigo, maíz y arroz en países en vías de desarrollo, hasta obtener las más productivas y resistentes a las plagas y climas extremos. Con la ayuda, además, de nuevos fertilizantes y plaguicidas y la inclusión en la ecuación de maquinaria pesada y riego por irrigación (un tipo de riego localizado que consiste en suministrar el agua gota a gota directamente a la raíz de cada planta), la forma en la que cultivábamos cambió para siempre.

OBSOLESCENCIA Y GUERRA

Como en el caso de la agricultura, el avance tecnológico ha tenido lugar mediante la acumulación del conocimiento y siempre de la mano de alguna revolución, como observó Thomas Kuhn al respecto del conocimiento científico. A veces estás revoluciones saltan de un paradigma a otro, es decir, cambia el marco conceptual que se utiliza para comprender las cosas. En tecnología, y esto lo vemos en nuestra vida cotidiana, se produce el fenómeno de la obsolescencia tecnológica: las viejas tecnologías se van

sustituyendo por otras nuevas. La legendaria Game Boy de Nintendo, con su arcaica pantalla en blanco y negro, donde brincaba Super Mario o caían inexorablemente los bloques del Tetris, ya es completamente obsoleta con respecto a la nueva PlayStation 5, donde disfrutamos de videojuegos que transcurren en mundos abiertos de tremendo realismo. Cada nuevo modelo de iPhone mejora al anterior, lo mismo pasa con el robot de cocina Thermomix o las televisiones de plasma.

Los consumidores nos vemos obligados, ya sea por presión social o por pura necesidad, a ir adaptándonos a los cambios tecnológicos, a no ser que vivamos como ermitaños en una montaña lejana, mirando las nubes, y la tecnología nos dé exactamente igual. En ese sentido, no podemos obviar otro fenómeno denunciado con frecuencia, la llamada obsolescencia programada: una dudosa práctica mediante la cual las empresas tecnológicas programan sus productos para que duren un tiempo limitado. Como la batería de tu móvil o una bombilla que deja de funcionar justo a los tres años de comprarla, por poner un ejemplo (véase el exitoso documental *Comprar, tirar, comprar*, de la directora alemana Cosima Dannoritzer). ¿Nunca has oído decir a la gente «mayor», ahora los llaman *boomers,* que antes los coches, las neveras y las lavadoras duraban mucho más? Pues eso. Mediante la obsolescencia programada las empresas conseguirían mantener sus cifras de ventas, manteniendo al consumidor cautivo de sus productos, obligado a comprar cada cierto tiempo y hacer así girar y girar la rueda de la economía, y aumentar constantemente sus beneficios.

Y entonces surge un problema mayor. ¿Qué hacemos con toda esa tecnología obsoleta? Aunque existen *hackers* que se dedican a darle nueva vida a la basura tecnológica, lo habitual es que la inmensa mayoría de ella acabe siendo montada en barcos y enviada a países pobres, como Ghana, en el África Occidental, donde se amontonan enormes e insalubres vertederos que nunca vemos: una verdadera desfachatez en casa de los más desfavorecidos. Lo más peligroso, las baterías y los residuos tóxicos. Un efecto secundario de la tecnología al que hacemos oídos sordos. Como es en África, parece que no importa, igual que las guerras que allí tienen lugar. Cosas del mundo occidental: ojos que no ven corazón que no siente.

Y me acuerdo del coltán, un material formado por dos minerales, la columbita y la tantalita, muy útil en la fabricación de todo tipo de elementos electrónicos debido a sus características: es muy buen conductor de la electricidad, es dúctil, puede almacenar energía eléctrica y tiene gran

resistencia a la corrosión. Como se encuentra en abundancia en el Congo, un enorme país en el corazón de África, muy, muy lejano, han sido frecuentes los conflictos armados en los que los congoleños pelean y mueren, en algunas de las masacres más grandes desde la Segunda Guerra Mundial, mientras nosotros cacharreamos en Instagram desde nuestros sofás. Y no es la primera vez que se producen grandes masacres en busca de materias primas en el Congo. Durante el proceso de colonización, a finales del XIX, en el llamado Estado Libre del Congo, propiedad del rey Leopoldo II de Bélgica, también se originaron grandes sufrimientos a la población esclavizada para conseguir caucho. Otra vez la tecnología, en esta ocasión la de los neumáticos, era el origen de algún genocidio en países lejanos para garantizar el confort de los países ricos. En esos horrores se basó el escritor Joseph Conrad para escribir su relato *El corazón de las tinieblas*, en el que luego se inspiró la película *Apocalipsis Now*, de Francis Ford Coppola.

Deberíamos ser conscientes de que nuestro consumo diario, el uso que hacemos de la tecnología tiene consecuencias que no podemos prever y que muchas veces, por diferentes intereses, no se nos muestran. La tecnología no solo significa pantallas luminosas, plataformas audiovisuales, comunicación instantánea y otras comodidades, sino que también genera otro tipo de indeseables impactos en el mundo.

ACELERACIONES

Desde aquellos inmemoriables años del fuego, la rueda, el arco y la flecha, ha llovido mucho, y la tecnología ha cambiado bajo la lluvia del tiempo. De hecho, en ocasiones se identifica la idea de progreso en general, de progreso humano, con la idea de progreso tecnológico, cosa que no es del todo cierta. Como hemos visto, muchas veces el desarrollo tecnológico no tiene por qué ir emparejado a una vida mejor para los seres humanos, o al menos para todos los seres humanos. La tecnología y la ciencia son como cuchillos de cocina: usados de forma adecuada cortan muy bien las verduras en juliana, mal utilizados pueden servir para apuñalar a otros.

En los albores del tiempo, la prehistoria se caracteriza por los materiales que su técnica ha precisado: la Edad de Piedra, la de Cobre, la de Bronce y la de Hierro. Esta nomenclatura es muy significativa: denotamos las diferentes etapas de la existencia primera de la especie por

la tecnología que ha ido desarrollando, en concreto el uso de los diferentes metales (excepto la piedra); es decir, cada época se caracteriza por su metalurgia. Como en el *Civilization,* pero la vida real no es un juego. Por ejemplo, en la Edad de Hierro, los seres humanos descubren los secretos del tratamiento del hierro (de ahí surgen los herreros), un material más accesible que el bronce anterior (una aleación de cobre y estaño) y muy abundante en la tierra. Las armas de hierro son más duras que las de bronce y, al mismo tiempo, si se deforman por los golpes, se pueden reparar: se trata de un avance técnico. Además de para fabricar armas, el hierro se utilizó para crear armaduras o herramientas, por ejemplo, para cocinar, comer o cultivar la tierra.

Porque cada etapa de nuestra historia ha estado marcada siempre por los avances científicos, técnicos y tecnológicos que hemos logrado alcanzar. Empecemos por el principio, suele ser lo habitual. Sobre la prehistoria es divertida la imagen de la serie de animación *Los Picapiedra,* de la productora Hanna-Barbera. Lo que nos choca de esta serie es que en el mundo de Pedro y Pablo Picapiedra se mezcla la prehistoria con la tecnología del siglo XX: hay un troncomóvil (un coche hecho con troncos de árbol), un teléfono cuyo auricular es el cuerno de un animal o un cortacésped que es un pequeño dinosaurio sobre ruedas que devora la hierba a su paso. La Revolución neolítica, hace 10.000 años, en plena Edad de Piedra, supone un gran cambio técnico: los seres humanos desarrollan la agricultura, lo que les permite abandonar el nomadismo y las sociedades cazadoras-recolectoras, para asentarse en ciudades y dar pie a la civilización tal y como la conocemos. Es curioso, hay quienes insinúan, como el historiador Yuval Noah Harari, autor del best seller *Sapiens*, que la vida de los cazadores-recolectores era menos estresante y menos dedicada al trabajo: resultaba mucho más sencillo tomar lo que la naturaleza nos ofrecía, pero «nos domesticó el trigo» y nos «obligó» a un duro trabajo cultivando la tierra de sol a sol, completamente atados a nuestro terruño. A partir de ahí vino la propiedad, la violencia, el poder, la dominación del hombre por el hombre.

En el mundo grecolatino, la técnica vive grandes avances, de la mano de grandes pensadores como Arquímedes (que desarrolló la ley de la palanca y muchos otros conceptos de física tan conocidos como el famoso principio de Arquímedes de la hidrostática). «¡Eureka!», gritó el sabio griego, dice la leyenda, al comprobar cómo el nivel del agua de su bañera ascendía cuando él se sumergía en su interior. Ya sabéis, todo cuerpo

sumergido en un fluido experimenta un empuje vertical y hacia arriba igual al peso de fluido desalojado. La tecnología de la época tiene, pues, mucho que ver con el agua (acueductos, termas, duchas) y la navegación (y la cartografía), pero también con la minería, las máquinas de guerra, el transporte o la arquitectura. Según algunos historiadores, al final de la Edad Antigua el desarrollo técnico decae por el esclavismo: es más fácil tener a seres humanos esclavos haciendo las tareas engorrosas que romperse la cabeza para imaginar nuevos ingenios que faciliten nuestras vidas. Los humanos como fuerza motriz, ¿para qué optimizar? La Edad Media, a continuación, es considerada con frecuencia como una etapa oscura en el conocimiento, un retroceso en el que se imponen el discurso religioso y de los antiguos textos filosóficos de Platón o Aristóteles a la interacción con la naturaleza, al aprendizaje de la experiencia (no es así en China, donde se inventa la pólvora o la brújula, o el mundo musulmán, donde el conocimiento continúa su avance en cuestiones como la química, la física, la medicina o las matemáticas). Aun así, se experimentaron algunos avances en cuestión de molinos de viento, arquitectura (se construyeron grandes catedrales con hermosas vidrieras), agricultura, relojería o maquinaria militar (como las primeras armas de fuego).

Es después, en la Edad Moderna, cuando suceden el Renacimiento, la Ilustración y la Revolución científica que priman el conocimiento empírico, extraído de la naturaleza, es decir, la ciencia, y posibilitan un mayor avance. Francis Bacon escribe en *La Nueva Atlántida* la primera utopía tecnológica, en la que la humanidad feliz consigue el dominio de la naturaleza para sus fines. La *Enciclopedia* de D'Alembert y Diderot es, en buena medida, una recopilación del conocimiento técnico y científico, de las artes y los oficios de la época. En la Revolución industrial, al hilo de la máquina de vapor, se empieza a desarrollar la industria; posteriormente se generan innovaciones como la máquina de coser, la bombilla, el pararrayos, el telégrafo, el teléfono o los vehículos a motor (curiosamente son algunos de los ingenios que luego aparecerán, adaptados a los cavernícolas, en la citada serie de *Los Picapiedra*). Se desarrolla la industria textil y la siderurgia, que produce el acero, una aleación de hierro y carbono llena de ventajas que, a su vez, posibilitará innumerables nuevos desarrollos e interminables rascacielos. El consumo de carbón, pues, crece de manera muy pronunciada, como verdadero motor energético de esta revolución. Ese mismo consumo, el de los combustibles fósiles (después llegaría el petróleo y el gas natural), es el que ahora debemos frenar para

detener el cambio climático, pero en aquel momento la ciencia y la técnica, que comienzan a ir de la mano, desconocían las consecuencias adversas de semejante explotación. Se empiezan a encontrar soluciones que no son conscientes del «cómo se hace» sino del «por qué se hace».

En el siglo xx se produce una explosión del conocimiento científico, sobre todo en áreas como la física y la química. La humanidad consigue poner a un hombre en la Luna y dejar una huella sobre su superficie, se desarrollan todo tipo de nuevos materiales (en especial los plásticos) y llega la revolución digital que posibilita, finalmente, el mundo en el que estamos inmersos. El desarrollo de la tecnología electrónica da paso a la informática o las tecnologías de la comunicación que usamos cada día. La comunicación se ha hecho instantánea, casi todo el conocimiento del mundo se puede encontrar en la biblioteca infinita de internet, el entretenimiento eterno está a un clic de distancia. Algunos ingenios, como la videoconferencia, que solo se veían en las películas de ciencia ficción como *Star Trek* o *Galáctica*, son ahora de uso común para cualquier terrícola. En ese sentido, a veces no somos conscientes de los prodigios en los que vivimos inmersos.

En el lado oscuro queda la superpoblación, el desastre medioambiental, el agotamiento de los recursos, las armas nucleares o el terrorismo global, todos ellos con fuerte participación tecnológica. No solo eso, en nuestro día a día son cada vez más frecuentes los casos de adicción a la tecnología, tanto en adultos como en niños, «pantallizados», a los que todavía no sabemos educar en el buen uso de unos avances cada vez más frenéticos y absorbentes (suele citarse el caso de algunos tecnólogos de Silicon Valley que prefieren criar a su descendencia alejada de las pantallas que ellos mismos promueven). Eso por no citar los casos de espionaje tecnológico a través de las redes sociales o la disposición masiva de nuestros datos por parte de las grandes empresas tecnológicas (que pueden vender al mejor postor). Lo que hacemos en redes sociales son datos que luego se analizan para ofrecernos aquello que está alineado a nuestros intereses, los algoritmos nos pueden conocer a través de nuestras acciones mejor de lo que nos conocemos a nosotros mismos. Y no solo recibimos y tenemos a nuestra disposición información sesgada según nuestros supuestos intereses. Estamos expuestos constantemente a teorías de la conspiración y *fake news*. Ni se te ocurra buscar que la Tierra es plana. Ni se te ocurra. Es importante cuestionarse todo lo que tenemos a nuestro alrededor, la humanidad no habría avanzado si no hubiéramos dudado de lo que

conocíamos hasta la fecha. Pero hay verdades inmutables. La pizza, sin piña. Y la Tierra es un esferoide oblato, casi como una esfera perfecta. Punto.

Es tan fácil «adornar» la verdad en redes sociales y que solo te llegue aquello que quieres escuchar… Una de las máximas del periodismo es «no dejes que un gran titular te estropee una noticia». Lo sabemos todos, pero nos quedamos con el titular. Y las redes sociales, por desgracia, cada vez están más polarizadas y politizadas. Tenemos menos tiempo, menos sentido crítico, no podemos perder un segundo en leer cada artículo del que nos hacemos eco, aunque lo compartamos. El titular, mejor quedarse con el titular… No tenemos tiempo ni para leer el artículo completo ni para contrastarlo. Además, si expreso mi opinión o cuestiono lo que me llega, me expongo al rechazo y la cancelación. A quienes tenemos cierta edad nos afecta (y no poco), pero ya tenemos alguna que otra experiencia o hemos batallado en alguna que otra guerra. Caemos del mismo modo en la división, dirigida y controlada, pero los jóvenes, a los que dedico mi vida, están siendo atacados desde todos los frentes posibles y para ellos es dogma de fe lo que encuentran en sus pantallas. Es muy difícil escapar, muy difícil, de la opinión masiva del resto. Tanto que, si se descuidan, terminan creyendo que la Tierra es plana porque lo han encontrado en internet. Aunque permitidme insistir. Nuestro planeta es un esferoide oblato, casi como una esfera perfecta. Punto.

Y eso no es todo. En breve, todos los elementos de la vida física estarán también conectados (si no lo están ya) mediante el internet de las cosas, de modo que todo es cada vez más dependiente de la red. Esto significa una vulnerabilidad más: se lo pregunta la periodista Esther Paniagua, ¿qué pasaría si internet se cae? Es un evento cada vez más probable: el 4 de octubre de 2021 pudimos ver como las plataformas Facebook, WhatsApp e Instagram quedaban fuera de juego durante varias horas. La tecnología hace que en los últimos años el futuro se haya convertido en un lugar menos apetecible que visitar, cuando hace no tanto el futuro era un lugar repleto de increíbles posibilidades, como los coches voladores, la ropa inteligente o el mayordomo robótico, tal y como se muestra en otra serie de animación de Hanna-Barbera, *Los supersónicos*.

Más allá de las redes sociales, disculpadme, que me disperso, el desarrollo de la tecnología ha sido uniforme a través de los siglos, aunque en las últimas décadas ha experimentado un acelerón sin precedentes. Los especialistas utilizan la palabra Antropoceno para llamar a esta época en la

que los seres humanos comenzamos a tener capacidad para modificar a gran escala la Tierra. Es un nombre polémico, los geólogos se quejan de que el Antropoceno no se refiere exactamente a una era geológica, sino más bien evolutiva o relacionada con nuestra propia actividad. A diferencia de, por ejemplo, el Holoceno, la última (y actual) época del periodo Cuaternario que comenzó después de la última glaciación, que sí tiene que ver estrictamente con hechos geológicos y ambientales comprobables.

En cualquier caso, el Antropoceno discurre desde la época de la Revolución industrial, cuando comenzaron las emisiones de CO_2 (dióxido de carbono) que están cambiando el clima del planeta: el calentamiento global. De hecho, lo que lo determina es la extinción masiva de seres vivos y la degradación de los ecosistemas, principalmente a causa de nuestra descontrolada actividad industrial. Dentro del Antropoceno se ha observado otro fenómeno conocido como «La gran aceleración». Esta ocurre aproximadamente desde 1950, cuando un montón de parámetros de la civilización comenzaron a crecer de forma notoria e ininterrumpida. Algunos de esos parámetros son la población mundial, la concentración de gases de efecto invernadero, la pérdida de masa forestal, la acidificación de los océanos, la degradación de la biosfera, el consumo de agua, el turismo, el uso de energía, de fertilizantes o de telecomunicaciones. Cuanto más se extiende la especie humana, menos espacio queda disponible, tristemente, para la naturaleza.

El inconmensurable acelerón de la tecnología en los últimos 50 años, que en ciertos casos está relacionado con los antes mencionados, puede resultarnos abrumador. Gordon Moore, cofundador de la empresa de microprocesadores Intel, enunció en 1965 una ley que lleva su nombre, la ley de Moore. Se trata de una ley empírica, es decir, extraída de la experiencia y no de principios generales, que dice que cada dos años se dobla el número de transistores en un microprocesador, al tiempo que baja su precio. Esto se ha cumplido desde los años sesenta, como dijo Moore, con una precisión pasmosa. La miniaturización de los transistores ha permitido que cada dos años la capacidad de computación de las máquinas sea cada vez mayor.

Lo hemos ido observando cada uno de nosotros en nuestra vida, solo hace falta pensar cómo estábamos hace 10, 15, 20 años… Las máquinas que nos rodean son cada vez más pequeñas y más potentes. Uno de los primeros ordenadores, el ENIAC de 1946, ocupaba una habitación entera y solo servía para hacer ciertos cálculos matemáticos relacionados con la

balística. Hoy en día un *smartphone* es miles de veces más potente y nos cabe en la palma de la mano. Se estima que uno solo de ellos, como el tuyo, mejor o peor, tiene más capacidad de cálculo conjunta que todos los ordenadores que nos llevaron a la Luna… Se piensa que la ley de Moore dejará de funcionar en los próximos años, ya que los procesos de miniaturización pueden detenerse. Los transistores son de unas dimensiones tan reducidas, de pocos nanómetros, que casi es imposible hacer ordenadores más pequeños. O sí, ahora estudiamos cómo diseñar ordenadores cuánticos que sustituirán a nuestros ordenadores actuales aprovechando los fenómenos casi místicos de la mecánica cuántica.

El secreto de este tipo de equipos reside en su capacidad para trabajar sobre la base de bits cuánticos, conocidos como qubits. Los vídeos de YouTube que solemos ver, los tuits que escribimos, las fotos que subimos a Instagram, los correos electrónicos que enviamos, cada operación que realiza un ordenador o tu *smartphone* lo hace a partir de largas cadenas de dígitos binarios, ceros y unos, básicamente. A cada uno de esos ceros y unos, en función de la señal eléctrica que reciban o no las entradas de cada una de las puertas lógicas digitales que integran cada chip, los llamamos bits.

¿Qué los diferencia de los qubits? A partir de aquí toca hacer un increíble acto de fe. Hablamos de física cuántica, que sin duda se escapa de alguna forma de nuestra comprensión y afirma que pueden alcanzarse dos estados diferentes al mismo tiempo. O ninguno. En un estado conocido como superposición cuántica. Es lo que se conoce como la paradoja del gato de Schrödinger, un gato hipotético que puede estar, pobre, vivo y muerto a la vez. Al menos así lo contaba el físico austriaco-irlandés Erwin Schrödinger , durante un curso de discusiones con Albert Einstein en 1935, para tratar de ilustrarlo.

Del mismo modo que nuestro desdichado minino, un sistema físico como un electrón puede tener diferentes estados de procesamiento al mismo tiempo o ninguno.

En esa dualidad, difícil de entender por otra parte, ya se está trabajando para el diseño de los futuros ordenadores cuánticos que os mencionaba, exponencialmente más potentes y de una capacidad de cálculo muchísimo mayor. «Hasta el infinito y más allá», que diría Buzz Lightyear.

Lo realmente paradójico es que si la tecnología nació con el fin de adaptarnos al entorno, de mejorar las vidas particulares y la supervivencia de la especie, el problema de La gran aceleración, del gran acelerón tecnológico, es que pone en peligro la supervivencia de la humanidad. O al menos las reglas del juego al que estábamos acostumbrados. Y no me refiero al *Civilization.*

Si la tecnología avanza a ritmo exponencial, lógicamente, siguiendo los conocimientos matemáticos, llegará un momento en el que ese aumento tenderá a infinito. Ese punto de completo desfase tecnológico ha sido bautizado por Ray Kurzweil, ingeniero de Google, como la singularidad tecnológica y calcula que sucederá en torno a 2045; no queda nada. Según Kurzweil, cuando llegue la singularidad, la inteligencia artificial superará a la humana y las máquinas aprenderán a replicarse a sí mismas sin necesidad de nosotros. Habrá una «explosión de inteligencia», en palabras del filósofo Nick Bostrom, que hará que las máquinas consigan mejorar cada vez más su propia inteligencia, y así hasta el infinito. El mundo ya no volverá a ser como antes. Es como si, de pronto, descubriéramos que el verdadero protagonista de la historia no es el ser humano, sino la tecnología: nosotros seríamos simplemente un eslabón necesario de la cadena, los posibilitadores de la tecnología todopoderosa que dominará el universo.

También se baraja que nacerá una nueva especie de poshumanos que superarán las capacidades humanas y, quién sabe, tal vez sometan al resto. No puedo evitar recomendar en este punto la película británica *Ex Machina,* de Alex Garland, en 2014… Si dicha singularidad ocurre, podría generar una sociedad dividida en dos clases fuertemente diferenciadas, en la que solo los más ricos podrían acceder a los avances tecnológicos para mejorar su cuerpo, pasando a ser poshumanos, mientras que el resto permanecería en un estado de precaria humanidad. En otra recomendable película de ciencia ficción, *Elysium*, de Neil Blomkamp (a estas alturas ya sabrás que soy un cinéfilo empedernido, sobre todo si se trata de ciencia ficción), ya se ve cómo los más ricos acceden a avances tecnológicos que les permiten huir de la Tierra a un idílico satélite artificial, dejando atrás un planeta de guerra, escasez y sufrimiento donde la mayoría de la humanidad se deprecia. En realidad, lo que pase después de una hipotética singularidad es difícil de predecir, aunque el físico Stephen Hawking alertó

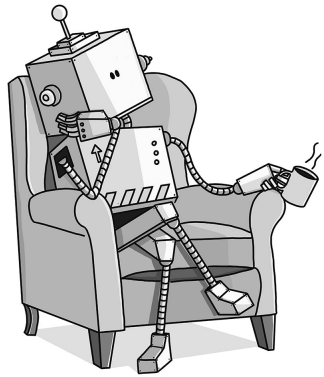
en alguna ocasión que un desarrollo completo de la inteligencia artificial podría poner en un compromiso la supervivencia de la humanidad. ¿Qué querrán hacer esas inteligencias artificiales cuando dominen la Tierra (o el universo)? ¿Y qué harán con nosotros? ¿Nos someterán? ¿Nos aniquilarán como el joven que mata al padre? ¿O nos dejarán en paz, viviendo en nuestro estado de inteligencia primitiva, como nosotros dejamos vivir (programas medioambientales mediante) a los osos pardos en las montañas?

Porque ¿quién guía el progreso tecnológico? Podría dar la impresión de que la tecnología, como producto de la actividad humana, está bajo su control, pero eso no es tan seguro. La idea filosófica de determinismo tecnológico es la que dice que, en realidad, la tecnología no está bajo el control humano, sino que va a su bola, que avanza de cualquier forma, incluso fuera de control. Si algún avance científico o tecnológico es posible, se dice, alguien en algún lugar lo acabará llevando de la potencia al acto. Los deterministas tecnológicos piensan que todos los cambios sociales estarían producidos por los cambios tecnológicos. Para algunos autores, es cierto que la tecnología va avanzando con autonomía, pero existe la posibilidad y el deber de dominarla. Por ejemplo, algunas tecnologías modernas como la energía nuclear o la ingeniería genética son controladas políticamente. Hay quien defiende que la tecnología no determina a la sociedad ni la sociedad determina a la tecnología, sino que todo transcurre en un punto medio. Por ejemplo, en sus inicios algunas tecnologías son más fáciles de dirigir por los humanos, luego, según se desarrollan, ganan autonomía. Por ejemplo, en sus comienzos había mayor posibilidad de actuar sobre internet o los *smartphones*: ahora son tan fundamentales en la sociedad, en nuestra vida cotidiana, que es muy difícil hacer grandes modificaciones o erradicarlos. ¿Se irá de madre la inteligencia artificial o la robótica?

Todo esto puede parecer que solo es fruto de mi locura particular, pero no es tan descabellado. Existen, de hecho, movimientos transhumanistas, decididos a promover la fusión del ser humano con la tecnología para llegar a mayores tasas de longevidad y felicidad, mientras que, por otro lado, también existen movimientos de personas preocupadas porque la poshumanidad venidera acabe con cualquier resto de la esencia de eso que nos hace humanos: que la tecnología acabe con la biología. No, no estoy pensando en ningún capítulo de *Black Mirror*. O sí, que estoy muy loco. Aprovecho, además, para decir que debería ser obligatorio ver todos los

capítulos de esa maravillosa y distópica serie de la BBC.

Hay otras voces que opinan que la propia idea de la singularidad resulta absurda. Algunas razones: que es imposible que la tecnología avance realmente de forma exponencial de aquí a mediados del siglo XXI. Paul Allen, cofundador de Microsoft, habla de un «freno de la complejidad: la mera complejidad creciente del desarrollo tecnológico será un freno para ese avance hacia la singularidad. Por ejemplo, recrear el funcionamiento del cerebro, una máquina tan compleja que apenas sabemos cómo funciona, está muy lejos de las posibilidades humanas (tal vez no esté al alcance del propio cerebro recrearse). Otra razón: pese a llamarla inteligencia artificial, no es análoga a la inteligencia humana, sino otra cosa, y además nunca logrará superarla. En eso estoy de acuerdo por ahora, hoy me parece tarea imposible. Pero, yo solo soy un «profe» de academia, no tengo ni idea de lo que nos espera. Quizá no queda tanto, ya veremos.



EL EVENTO CARRINGTON

Interesante, muy interesante. No puedo esperar a mañana para ver cómo continúa, pero al cerrar el archivo, descubro que la última versión de los apuntes del profesor está datada un 20 de julio de 2046 a las 15.06 p.m. (GMT 0). Sin duda, no es casual, más adelante os contaré por qué, pero ahora, para poneros en contexto, os cuento una historia que tuvo lugar muchas décadas antes, en 1859.

El 28 de agosto de 1859 se produjo una gran eyección de masa coronal del Sol (CME, por sus siglas en inglés), lo que llamamos una llamarada solar, la más potente registrada jamás en la historia. Fue el astrónomo aficionado inglés Richard Carrington el primero en observarla, de ahí que también esa tormenta fuese conocida más adelante como el evento Carrington. El 1 de septiembre, el Sol emitió una inmensa llamarada, lanzando al espacio una cantidad de energía equivalente a la liberada por 10.000 millones de bombas atómicas.

Solo 17 horas y 40 minutos después, la eyección llegó a la Tierra con partículas de carga magnética muy intensa. El campo magnético terrestre se deformó completamente y esto permitió la entrada de partículas solares hasta la alta atmósfera. En los días sucesivos pudieron verse auroras boreales en Madrid, Roma, La Habana, Santiago de Chile, Panamá o las islas Hawái. Hasta aquí bien, pero no todo fue tan romántico.

De las máquinas de telégrafo de París saltaban chispas. La red se cayó durante 14 horas en Europa y Estados Unidos. Los cables del

telégrafo sufrieron cortes y cortocircuitos que provocaron numerosos incendios. Afortunadamente, en aquel momento la civilización no dependía en gran medida de la electricidad. Tampoco de satélites artificiales ni de complejas redes de comunicación en nuestro día a día… El evento Carrington colapsó la tecnología, la de aquel momento. Supuso grandes pérdidas económicas y un susto importante, pero se quedó ahí…

Ahora toca descansar y recargar baterías. El capítulo de mañana, sobre el tiempo, suena bien. Y sobre tormentas solares, os cuento más, ya descubriréis por qué, todavía no quiero haceros *spoiler*.

2

NO SABEMOS LO QUE ES EL TIEMPO, PERO PODEMOS MEDIRLO

«Si no me lo preguntan, sé lo que es; si me lo preguntan, lo ignoro». Algo así dijo el filósofo y obispo Agustín de Hipona sobre el tiempo. El tiempo, qué cosa tan rara: ese flujo extraño e inaprensible en el que se enhebra nuestra vida. «Somos el tiempo que nos queda», escribió el poeta Caballero Bonald. Somos eso, somos tiempo, pero no entendemos muy bien qué es el tiempo y por qué parece transcurrir de diferentes formas: existe el tiempo histórico, el tiempo físico, el tiempo psicológico… El tiempo, en la acelerada sociedad actual, cada vez es más precioso, cada vez tenemos menos, y en buena parte es por culpa de la tecnología. El tiempo es un bien menguante: no nos da la vida para hacerlo todo, y eso que la tecnología venía a librarnos del ajetreo.

Hay horas, cuando estamos concentrados o interesados en algo, en las que el tiempo se nos pasa volando; cuando llega el tedio, los segundos son espesos y se antojan insoportables. No es lo mismo el esquivo tiempo de una fiesta, que enseguida llega a su fin, que el lánguido tiempo en la sala de espera del dentista. Los cronófobos, esos que tienen miedo al paso del tiempo, a que la vida se escabulla entre los dedos como arena, no tienen ante sí un panorama demasiado halagüeño: mientras que los aracnófobos

pueden escapar de su miedo a las arañas o las personas con vértigo evitar las alturas, nadie puede separarse del tiempo: el tiempo siempre está presente. Nadie conoce demasiado bien los misterios del tiempo. Eso sí, gracias a diferentes tecnologías, podemos medirlo, y a lo largo de la historia lo hemos hecho de muchas maneras, desde los primeros relojes de sol hasta los últimos relojes atómicos que mandamos al espacio para ayudarnos a explorar otros planetas.

LOS RITMOS DE LA NATURALEZA

Las formas más antiguas y sencillas de medir el tiempo, sin embargo, no tienen que ver con lo tecnológico, sino con los propios ritmos naturales (para medir el tiempo siempre es necesario algo que se repita en el propio tiempo). No hay ciclo más cercano a los seres humanos que el ciclo de la vida: nacemos, crecemos, envejecemos, morimos… Eso nos da una primera idea del tiempo vital, del tiempo de vida, del reloj biológico, también del tiempo de las generaciones.

Si te enamoró como a mí *Juego de Tronos,* sabrás quién es Daenerys Targaryen de la Tormenta. La que no arde, rompedora de cadenas, madre de dragones, Khaleesi de los Dothraki, reina de los Ándalos y los Rhoynar y los Primeros Hombres, señora de los Siete Reinos y protectora del Reino. Del mismo modo, en la Biblia con frecuencia se da idea del tiempo transcurrido haciendo referencia a las generaciones que han pasado, a quién es hijo de quién, y quién es hijo de ese hijo o padre de ese padre, formando extensos árboles genealógicos. Jesús es hijo de José, hijo de Elí, hijo de Matat, hijo de Leví, hijo de Melqui, y así un largo etcétera.

Más allá de nuestros antepasados más recientes, hubo un tiempo en el que el cielo es lo más parecido a un reloj que conocíamos. Más allá de nuestra propia vida, había ciclos temporales evidentes si mirábamos al firmamento. Primero, el ciclo de rotación de la Tierra que, encarando cada territorio al sol, forma la luz y la oscuridad, el día y la noche. Así, el tiempo podía medirse en días.

Si nos regíamos por la Luna y su movimiento de traslación alrededor de nuestro planeta, podíamos medir ciclos de 28 días exactos. El tiempo a medio plazo se medía en lunas. A largo plazo, también evidente, el que producía la traslación de la Tierra, los años con sus cuatro estaciones: primavera, verano, otoño e invierno. Ciclos que rigen con fuerza la vida

sobre el planeta, y que, por tanto, acabaron condicionando la agricultura y ahora condicionan la canción del verano o la próxima temporada de esquí. Diferente en cada hemisferio, eso sí…

Cuando en España celebramos la Nochebuena bastante abrigados, en Argentina, por ejemplo, en el hemisferio sur, están en la playa disfrutando del sol que preside su bandera. Es lo que tiene que el eje de rotación de la Tierra esté inclinado 23° 26' respecto al plano del Sol, teóricamente porque un enorme cuerpo celeste la golpeó, inclinándose debido a la fuerza del golpe. De los escombros de semejante colisión surgió la Luna, esta historia me parece maravillosa…

Quizá ahora te parece evidente esta diferencia, pero hace siglos no existía Instagram para poder comparar fotos de forma inmediata y poder constatar la oblicuidad de la elíptica, por qué los días son más largos en verano que en invierno (y viceversa) o por qué una noche en el Polo dura 179 días. El tiempo y cómo lo vivimos siempre ha sido casi inmutable y caprichosamente relativo.

A partir de ahí, siempre hemos sido presos del tiempo, cada vez en mayor medida y en menor escala. Por eso comenzamos a dividir los días en horas, diseñando artefactos como los relojes de sol y de agua (también conocidos como clepsidras). Los de sol, que funcionaban utilizando la sombra de una varilla o indicador que se mueve durante el trayecto diario del sol en el cielo, se extendieron por todo el Imperio romano, ya se utilizaban en Babilonia, en las antiguas China e India, y llegaron hasta la Edad Media (todavía hoy se usan de manera ornamental), aunque su precisión era algo tosca debido a las ya citadas variaciones de la longitud del día a lo largo del año. En cualquier caso, desde siempre intentamos dividir el día. Primero en dos secciones de 12 horas, antes y después del mediodía y de la medianoche. Más tarde, cada vez con más prisa y más estrés, en 24 horas.

La clepsidra (del griego «ladrón de agua»), el reloj de agua, consiste, *grosso modo*, en un recipiente de agua que deja caer un chorro con regularidad y a través de ese goteo se mide el tiempo de dos maneras: cuando se vacía un recipiente o cuando se llena otro (así, un recipiente le «roba» agua al otro, de ahí la hermosa palabra clepsidra, muy útil para componer poemas). Algún texto de Vitruvio, que vivió en el siglo I antes de Cristo, ya describe sofisticadas clepsidras, también se encuentran en la antigua China, Egipto, Babilonia o India. Como la viscosidad del agua depende de la temperatura, y la velocidad a la que fluye el líquido depende

de la viscosidad, el tiempo que toma una clepsidra en llenarse o vaciarse dependerá también de los grados centígrados a los que se encuentre el líquido. Para los estándares actuales, pues, la clepsidra no sería una buena manera de medir el tiempo, porque el tiempo de vaciado o llenado variaría mucho en días fríos o calurosos (a no ser que fuese calibrada todos los días). Pero parece que en aquellos tiempos servía: ahora es importante la puntualidad extrema (en España no tanto, para qué engañarnos), pero antiguamente todo funcionaba de manera más laxa. Si se concertaba una cita a una hora, se contemplaba un margen de error de media hora o una hora, todo funcionaba de manera más vaga y aproximada, la vida era más lenta y tranquila (quizá más feliz). Además, como los relojes no eran precisos, solo aproximados, tampoco se podía exigir puntualidad. A día de hoy, muchas personas parecemos seguir rigiéndonos por una clepsidra, porque no hay manera de que lleguemos a nuestra hora. Con los años, me hago mayor, intento ser lo más puntual posible, por pura educación, por respeto a los demás, prefiero ser yo quién espera. Pero la puntualidad no es una de mis virtudes, no os voy a engañar. Y después de documentarme, aunque quizá sea peor, me parece más romántico esgrimir una excusa diferente al tráfico, ya sabéis, las clepsidras. No os vengáis arriba los impuntuales pero puede dar pie a una interesante conversación.

Más allá de excusas sin fin y de nuestro firmamento, la medición del tiempo siempre ha sido vital. Y había un largo camino que recorrer en el corto plazo. De ahí otro reloj curioso que seguro nos resulta familiar aunque ya no lo usemos (lo venden en tiendas de antigüedades o decoración, se utiliza en ciertos juegos de mesa, tiene sus propios emojis y es casi un símbolo universal del tiempo), el reloj de arena, que surgió asociado al soplado del vidrio, en la Edad Media; el primero del que se tiene noticia, fabricado por un monje franco llamado Liutpran, se utilizó en el siglo VIII en la catedral de Chartres. Los relojes de arena se utilizaban en el ámbito doméstico o eclesiástico para medir tiempos pequeños (por ejemplo, tiempos de cocción) y eran muy fiables en alta mar, donde las clepsidras o los relojes de sol, debido al movimiento de la nave, no eran demasiado útiles. Consisten en un recipiente de vidrio con una estrechez, una especie de cuello de botella, por el que cae una cantidad de arena por efecto de la gravedad entre un depósito superior y otro inferior (el concepto es similar al de la clepsidra, pero con arena en vez de agua). Dependiendo de la cantidad de arena, se pueden construir relojes que tengan diferentes duraciones. Cuando se agota la arena y se cumple el

tiempo, basta darles la vuelta en un gesto muy teatral para que vuelvan a empezar a funcionar. Estas tecnologías, hermosas aunque algo rudimentarias, fueron sustituidas por el reloj mecánico, que supuso un cambio en la tecnología y en el mundo.

LA LLEGADA DEL TIEMPO RÍGIDO

Los relojes mecánicos, que surgen en Europa en el siglo XVII, ya no eran tan imprecisos, dependientes del sol o el agua, ni necesitaban constante mantenimiento. Siempre que hay un reloj hay algo que oscila de manera regular: en el caso de los relojes mecánicos esa oscilación era producto de muelles y péndulos y funcionaban a través de complejos engranajes que manejaban los relojeros, personas consideradas de gran habilidad e inteligencia (de hecho, si hablamos de tecnología, el funcionamiento de un reloj mecánico puede considerarse la máxima expresión de precisión y tecnología). Veamos: el reloj mecánico funciona, de forma esquemática, con tres elementos: un motor (generalmente un muelle o resorte) que acumula energía (por ejemplo, cuando le damos cuerda) que se transmite a lo que se llama tren de rodaje, cuyas ruedas dentadas de diferentes tamaños, a su vez, descomponen la energía en distintos movimientos de diferentes periodos para mover las agujas que definen horas, minutos y segundos. Y, por último, un elemento oscilante, como un péndulo, que sirve para contener la energía sobrante, para ir frenando, para someter los continuos pasos de las agujas, para generar el famoso tictac de este tipo de relojes.

La aparición del reloj en el campanario del pueblo o en otros lugares públicos (los relojes eran grandes y caros, solo se lo podían permitir los gobiernos municipales o las clases adineradas) significó un cambio profundo en la vida de las personas y en la economía. Seguimos conociendo relojes colocados en lugares prominentes de las ciudades, por ejemplo, el reloj de la Puerta del Sol, en Madrid, que cada año nos da el ritmo para comer las uvas en Nochevieja, o el famoso Big Ben londinense, símbolo de aquella ciudad y de aquel país. De pronto, con la llegada de esos relojes de campanario, había una hora para despertarse, para ir al trabajo, para dejar de trabajar, para asistir a misa. Un agobio, vaya, con lo bien que se estaba antes… Las campanas, que se podían oír a kilómetros en la silenciosa campiña, eran la señal sonora de los momentos significativos

del tiempo diario. En general, la medición del tiempo hizo que los seres humanos se rigiesen por esquemas más rígidos; ya no se levantaban al alba y se acostaban al anochecer, ya no comían cuando tenían hambre; la vida empezó a depender de los relojes y no de los ritmos naturales. Por eso hoy en día, a veces, en lo más profundo del invierno, vamos al trabajo, al colegio o a la universidad cuando aún no ha amanecido. Ya sabéis, el huso horario, el cambio de hora en otoño y verano… Para algunos, que somos más búhos que alondras (otro día os cuento eso), los relojes que marcan el ritmo habitual de actividad de la mayoría de nuestro entorno, siglos después, nos siguen pareciendo el enemigo. Lo de irse a trabajar de noche, ya ni os cuento…

Como hablamos de tiempo y de ir a trabajar, la Revolución industrial cambió drásticamente la forma en la que medimos y nos relacionamos con el tiempo. Ahora los ritmos ya no tenían tanto que ver con el mundo rural, sino con la producción industrial en las fábricas y con los negocios: comprar y vender lo que en ellas se producía. Los obreros que llegaban a las ciudades llevaban vidas muy duras; trabajaban jornadas larguísimas por salarios muy bajos, hacinados en viviendas insalubres. El ritmo industrial otorgaba un día libre a la semana, el domingo, que el campo no permitía, porque los animales y los cultivos no entendían de festivos. Comienza el concepto de fin de semana. Las horas empiezan a ser una fracción demasiado amplia para la efectividad del sistema, hace falta fraccionarlas en minutos y segundos para organizar mejor la producción fabril, los viajes de negocios, los sistemas de transporte, las reuniones: nada de esto era necesario para las tareas del mundo rural. Los primeros relojes mecánicos solo tenían la aguja horaria, pero ahora aparecen el minutero y el segundero; los relojes se hacen más detallados, y su imperio, más sólido.

No todo fueron inconvenientes para los que nos acostamos tarde (son las 02.32 a.m., y estoy revisando este capítulo). Una de las grandes ventajas que permitieron los relojes mecánicos de suficiente precisión fue el cálculo de la longitud terrestre. Si bien la latitud se puede calcular desde cualquier punto del orbe conociendo la posición del sol (por ejemplo, cuanto más al norte, a mayor latitud, menor altura alcanza el sol), la longitud es imposible de conocer con meras observaciones astronómicas. Así, los barcos que navegaban el Atlántico, por ejemplo, conocían su latitud (cuán al norte o al sur estaban), pero no la longitud (cuán al este o al oeste). Les faltaba una coordenada. ¿Cómo podían calcularla? Teniendo un

reloj lo suficientemente preciso, que no retrasara… La idea era comparar la hora local en un barco con la hora local en ese mismo instante en el puerto desde el que salió. Así, a las doce del mediodía, cuando el sol estaba exactamente en el punto más alto sobre la cubierta del navío, la longitud se definió como la diferencia con respecto a un reloj que marcase sin retraso y con la mayor precisión posible la hora de, por ejemplo, Lisboa, el lugar desde el que inició su viaje. Y así se hizo, gracias a una serie de relojes mecánicos de alta precisión que construyó a mediados del siglo XVII el relojero inglés John Harrison. Desde ese momento también pudimos calcular no solo la latitud, sino también la longitud, un enorme avance para la navegación, no podéis imaginaros cuán importante fue ese simple, y a la vez preciso, cálculo.

A mediados del siglo XVIII, gracias a la miniaturización, aparecieron los relojes de bolsillo, piezas caras que los burgueses adinerados llevaban en el chaleco, agarrados por una pequeña cadena, como símbolo de distinción. Viajeros como Phileas Fogg, de *La vuelta al mundo en 80 días*, de Julio Verne, encontraban en este tipo de artefactos un fiel aliado para viajar (el tiempo es uno de los grandes protagonistas de esa novela y todas las películas y series que inspiró. En la famosa serie de dibujos animados de 1983 creada en España por BRB Internacional (responsable también de *D'Artacan y los Tres Mosqueperros* o *David el Gnomo*), el personaje de Tico (que no tenía nada que ver con la obra original de Verne, pero era adorable y hablaba con acento andaluz), por cierto, tenía un reloj de sol. Ya, lo sé, soy un poco *boomer*. Allá por 1983 tenía poco más de 11 años. Lo siento.

Sigamos con el tiempo, inexorable, por otra parte. Las marcas de lujo, como la célebre Rolex, siguen fabricando relojes mecánicos de pulsera y, con la llegada de los relojes electrónicos, siguen siendo un signo de distinción y elegancia. Los relojes también llegaron a nuestras muñecas: el primer reloj de pulsera fue creado a petición de María Carolina de Austria, reina de Nápoles, en 1812. Se trataba de un lujoso diseño montado sobre un brazalete de oro y piedras preciosas. Durante mucho tiempo el reloj de pulsera fue cosa de mujeres, porque los hombres lo llevaban en el bolsillo de la manera antes descrita, hasta que en la Primera Guerra Mundial comenzó a utilizarse con fines de aviación y militares. En 1904, el famoso aviador brasileño Santos Dumont le pidió al famoso joyero francés Louis Cartier que le fabricase un reloj de pulsera, para poder consultarlo durante el vuelo, y Cartier lo hizo: así se creó un modelo clásico de reloj de aviador que aún se comercializa.

Pero antes, por aquella época decimonónica, en 1884, un acuerdo internacional firmado en Washington D.C. fijó el meridiano de Greenwich como origen de la longitud terrestre y de los husos horarios en los que se dividía el planeta. Crear un tiempo universal era importante: antes, el tiempo de cada ciudad y de cada pueblo era propio. Al mediodía solar, cuando el sol estaba en el cénit, se sincronizaban los relojes a las 12. Esas 12 eran diferentes, pues, en Madrid que en Valencia, en Nueva York que en Washington. Pero llegó un momento en que el transporte por tren pudo unir las ciudades en tiempos razonables y hubo que unificar los tiempos de la forma en la que hoy conocemos. Hasta entonces el tiempo casi se regía según nuestro estilo de vida. Desde ese momento, con el auge de las comunicaciones terrestres, ya no dependía de donde estuviéramos. No fueron pocos los que se extrañaron de que a su vida se le restasen o sumasen horas según se moviesen por el planeta. Desde ese momento, con los husos horarios y los viajes en avión a grandes distancias, llegó el odioso *jet lag*.

TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA

En 1970, sí, el siglo pasado, llegó el reloj de cuarzo, el que usábamos las personas de mi generación antes de la aparición de los móviles. Su tecnología es muy sofisticada, posibilitada por los grandes avances de la física de ese siglo: lo que oscila en los relojes de cuarzo es la estructura del cristal molecular del propio cuarzo excitado por una corriente eléctrica. El cuarzo se encuentra dentro del reloj, en el interior de un pequeño cilindro metálico, el campo eléctrico oscilante es producido por un circuito eléctrico alimentado por una pequeña batería, esa que hay que cambiar con frecuencia en los relojes. Durante esos años comenzó la producción masiva de estos relojes, que eran muy precisos, muy ligeros y muy baratos. Apenas necesitaban mantenimiento: el éxito comercial fue enorme.

Al menos, hasta que llegó la siguiente actualización, los relojes digitales, que ya no necesitaban ni mecanismos ni cuarzo, solo circuitos, y fueron sustituyendo a la vieja esfera redonda del reloj de agujas para cambiarla por una pantalla led. Se inventaron a mediados del siglo XX en Estados Unidos, pero no se popularizaron hasta los años ochenta, irónicamente, de la mano de la marca japonesa Casio. Baratísimos de producir, se convirtieron casi en un artículo de primera necesidad, como

podría serlo hoy un *smartphone*. Para que os hagáis una idea, fue el regalo de mi primera comunión (aunque gracias a Dios sea ateo). En España, todos los niños de 10 años teníamos uno. El reloj digital era más exacto, pero sin duda se perdía el encanto de ver el tiempo, presente, pasado y futuro representados en un círculo: mirando un reloj redondo podíamos imaginarnos visualmente el tiempo que quedaba para que acabase una clase o comenzase una cita, y también nos daba una idea de la circularidad del tiempo, de los días que se repiten una y otra vez, hasta que dejan de repetirse. En el colegio se nos enseñaba a leer el tiempo en ese tipo de relojes. Con la aparición de los relojes digitales, que permitían contar con facilidad las décimas y centésimas de segundo, cosa muy útil por cierto en el ámbito científico o ingenieril, una década después, poco a poco, inexorablemente, como el tiempo, dejó de hacerse.

¿Qué sería de unos Juegos Olímpicos sin este tipo de tecnología? Los relojes digitales nacieron siendo aparatos autónomos, separados, colgados en la pared, montados en la muñeca (como el famoso Casio que vuelve a estar de moda) o convertidos en reloj despertador de letras rojas y luminosas sobre la mesilla de noche. Algunos te despertaban con la radio. Otros, de los de pulsera, tenían calculadora, con su pequeño teclado de números, agenda o cronómetro. Y otros hasta tenían videojuegos, por ejemplo, de coches de carreras o de plataformas, eran la bomba e inspiraban envidias inconfesables en el colegio. Michael Knight podía llamar a través de su reloj de pulsera a Kit, el coche fantástico, pero eso era dentro del ámbito de la ficción.

No sé cuántos chavales de 10, 12 o 15 años actualmente son capaces de dar la hora viendo un reloj analógico, consecuencias inevitables una vez más del avance tecnológico… Pocos son ahora, incluso, los que llevan un reloj solo para saber la hora. Cada vez son más quienes lucen flamantes *smartwatches* que te dicen tu gasto calórico diario, si debes hacer ejercicio o cómo se distribuyen tus horas de sueño. O ni siquiera lo usan. Hoy el reloj digital, como casi todo lo demás, está en la pantalla de nuestros *smartphones*: los relojes de pulsera van desapareciendo y el gesto para consultar la hora ya no es mirarse la muñeca, sino buscar el móvil en las profundidades del bolso o del bolsillo del pantalón: «Espera que ahora te la digo».

Pero siguen siendo vitales, aunque hayan desaparecido poco a poco de nuestras vidas. Los relojes más avanzados que existen, desarrollados en el siglo XX, son los relojes atómicos, fundamentados en la física cuántica: en

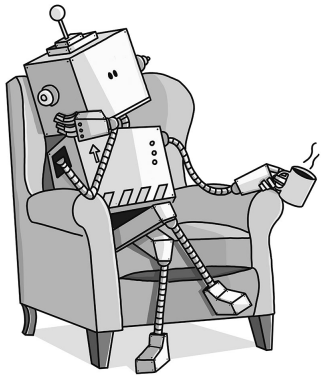
ellos lo que oscila es el átomo de cesio-133: unas 9.192.631.770 veces por segundo. Construido por Louis Essen en 1955 en el Laboratorio Nacional de Física británico. Es decir, lo que vibra en un reloj atómico es el propio átomo: utilizar la vibración atómica para medir el tiempo es una idea audaz que se basa en uno de los fenómenos más fundamentales de la naturaleza. Para ello es necesario enfriar los átomos casi hasta el cero absoluto ralentizándolos con láseres, para luego sondearlos y obtener la vibración que producen entre dos de sus niveles de energía. Muy difícil de imaginar, pero físicamente posible en ese mundo diminuto de los átomos. Los relojes atómicos se utilizan en tecnologías como la red GPS, la radioastronomía o la red de telefonía móvil.

También se usan en el espacio: en 2019 la NASA puso en órbita una versión espacial de los relojes atómicos terrestres, el Deep Space Atomic Clock, basado en el ion mercurio, menos voluminoso y con menos necesidad de energía. Podrá ser utilizado para localizar a naves que se encuentren en el espacio profundo o viajen a Marte (los relojes, una vez más, permiten saber la posición de las naves, igual que ocurría con los navíos cuando se resolvió el problema de la longitud terrestre). Los relojes atómicos pueden servir para medir distancia entre objetos: basta con saber cuánto tiempo tarda en llegar una señal (por ejemplo, luminosa) de un punto a otro (esa es su utilidad en la red GPS).

Si un reloj mecánico antiguo podía dar los segundos con precisión, el reloj atómico mide el tiempo con una precisión de trillonésimas de segundo. La precisión es tal que solo retrasa un segundo en 300 millones de años. La forma de definir el segundo es ahora esta: Un segundo es la duración de 9.191.631.770 oscilaciones de la radiación emitida en la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado fundamental del isótopo 133 del átomo de cesio (133Cs), a una temperatura de 0 K. Yo no termino de entenderlo del todo, solo sé que en toda mi vida no se retrasaría ni un segundo. ¿Es ese el límite de la precisión? Evidentemente no, la tecnología debe siempre tender a la máxima perfección posible. Lo que nos hace humanos es nuestra capacidad para ir siempre más allá de lo estrictamente necesario.

Por eso, aunque es difícil imaginar un reloj más avanzado que el reloj atómico, aunque se siguen haciendo avances, como construir relojes atómicos que tengan el diminuto tamaño de un circuito integrado. Hemos recorrido un largo camino desde los primeros relojes de sol y las primeras clepsidras. Así que, de algún modo, podríamos decir que hemos domado al

tiempo, al menos en lo referente a su medición. Por muy bien que le tengamos cogida la medida a los segundos seguimos sin saber qué demonios es el tiempo y por qué demonios pasa tan rápido. Y a veces nos lleva toda una vida decidir a qué queremos dedicar sabiamente cada uno de esos segundos.



OTRAS TORMENTAS SOLARES, ¿ESTAMOS PREPARADOS?

20 de julio de 2046. 15.21 p.m. (GMT 0)

Segundo capítulo terminado, pero no puedo irme sin hablaros de otras tormentas solares que sucedieron al evento Carrington…

En marzo de 1989, una tormenta solar mucho menos intensa que la de 1859, provocó que la planta hidroeléctrica de Quebec (Canadá) se detuviera durante más de 9 horas; los daños y la pérdida de ingresos resultante se estimaron en cientos de millones de dólares, seis millones de personas se quedaron a oscuras. También dañó transformadores en lugares tan lejanos como New Jersey y estuvo a punto de dejar fuera de servicio las redes eléctricas de EE. UU. desde la costa Este hasta el noroeste del Pacífico.

En 1994, otra tormenta solar causó errores en dos satélites de comunicaciones, afectando a los periódicos, las redes de televisión y el servicio de radio en Canadá, otra vez Canadá. Los sistemas como servicios móviles, señales de televisión, sistemas GPS y redes de electricidad dejaron de funcionar.

El 23 de julio de 2012 una eyección de masa coronal muy parecida a la del evento Carrington cruzó la órbita terrestre solo 9 días después de que la Tierra pasara por ese punto. El planeta, la humanidad al completo, se salvó por poco de un inmenso desastre.

3

CÓMO CAMBIARON EL MUNDO (Y NO SOLO LA TECNOLOGÍA) LAS REVOLUCIONES INDUSTRIALES

VAPOR Y TELARES: LA PRIMERA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

Humo, chimeneas, fábricas, trenes, el ruido de las máquinas, las masas trabajadoras, todo eso es lo que nos trae a la mente la Revolución industrial. Dicen que se trata del momento más importante de la historia de la humanidad, quizá solo después de la Revolución neolítica, cuando el ser humano desarrolló la agricultura y dejó el nomadismo para asentarse en una plaza fija. Desde la Revolución industrial el mundo es otro, de ahí procede el fuerte desarrollo tecnológico, la confianza en la razón científica, la aceleración en todos los aspectos y el destrozo creciente del planeta que nos alberga. La historia de las sucesivas revoluciones industriales nos da una idea muy nítida de la intensa trabazón entre la tecnología y sus avances y el mundo que los rodea. La tecnología no son solo máquinas que hacen cosas, sino máquinas que cambian nuestras vidas en todos los ámbitos.

La Revolución industrial se originó en Inglaterra, aproximadamente en 1760 y, aunque tuvo un fuerte componente tecnológico, ejerció una gran influencia en todos los ámbitos de la sociedad. Para el economista y

sociólogo Jeremy Rifkin cada revolución industrial se caracteriza por una nueva forma de energía, de comunicación y de transporte. En el caso de esta primera revolución la energía que la puso en marcha fue el carbón, que empezó a extraerse en minas de allí donde se encontraba por toda Europa (Inglaterra, el valle de Ruhr en Alemania o Asturias en España), generando una fuerte cultura minera que hace años tocó a su fin. Con la quema masiva de carbón en las primeras centrales térmicas comenzaron las emisiones de CO_2 responsables en primera instancia del efecto invernadero y el cambio climático. Hasta ese momento, de hecho, la concentración promedio de dióxido de carbono se situaba cerca de 280 partes por millón, tal cual había sido en los últimos 800.000 años. Desde 1750 hasta el 2020 esa concentración ha aumentado un 42 %…

Del mismo modo que la prensa de masas favoreció la comunicación a todos los lugares del planeta, el ferrocarril, cuyas vías cruzaron progresivamente todo el continente europeo y norteamericano, cambió las reglas del juego en lo que al transporte y la logística se refiere.

No es casual, por tanto, que, como se enseña desde la escuela, esta revolución tuvo su origen en la máquina de vapor, un ingenio que ya existía pero que fue hecho más eficiente, potente y rentable, como ya os adelanté en el primer capítulo, gracias a James Watt, en cuyo honor llamamos ahora vatio a la unidad de potencia. Antes de «su máquina» hubo otros modelos, como el de Newcomen, que vaciaba de agua las propias minas de carbón y evitaba su inundación, permitiendo aumentar la extracción del preciado mineral, llegando a vetas de combustible que antes eran inaccesibles por estar sumergidas. Luego ese carbón, como en un círculo virtuoso, sería utilizado para calentar el agua y obtener el vapor.

Pero ¿qué es una máquina de vapor? Se trata de un motor que transforma la energía térmica del agua en energía mecánica. Es decir, al hervir agua conseguimos vapor en una caldera cerrada. Ese vapor genera una presión que acciona un pistón en un cilindro que, a su vez, y mediante otros mecanismos, puede mover las ruedas de una locomotora, una máquina hiladora o un telar, el rotor de un generador eléctrico o el motor de un barco (un barco de vapor, como los que navegaban por el Mississippi). Todavía me resulta increíble que algo tan etéreo como el vapor pueda tener tanta fuerza, pero, según explican perfectamente las leyes de los gases de la física, la tiene. La máquina de vapor consiguió poner el mundo en movimiento, aumentar la producción y la riqueza (aunque esta no se distribuyera de la manera más justa). Hasta el siglo XVIII

las manufacturas se habían realizado en pequeños talleres con herramientas sencillas, de una forma artesanal en la que el productor controlaba sus propios ritmos, iba un poco a su bola, pero ahora la nueva producción industrial necesitaba de amplias y espaciosas fábricas, con grandes máquinas, mucha inversión y una mayor organización del trabajo. El artesano, más autónomo, dio paso al obrero a las órdenes de ingenieros y empresarios.

Los primeros tiempos de la Revolución industrial fueron eminentemente textiles (la ropa era de los pocos productos utilizados de forma masiva), utilizando el algodón traído de las colonias americanas (hasta que dejaron de ser colonias, por aquella época también tuvo lugar en Estados Unidos la guerra de la Independencia), India o Egipto, cultivado hasta entonces por mano de obra esclava. La primera máquina famosa, ya convertida en un símbolo de la época, fue la Spinning Jenny inventada en 1764 por James Hargreaves en el condado inglés de Lancashire (donde surgió una potente actividad industrial dedicada a tejidos gruesos como la pana). Fue importantísimo porque redujo mucho el tiempo necesario para la producción de hilo. Curiosamente, hoy la industria de la moda es también una de las más potentes (y de las más contaminantes y explotadoras), baste con ver la preeminencia económica de la empresa española Inditex (con Amancio Ortega como una de las fortunas más grandes del mundo) o la sueca H&M.

La habilidad humana y la energía animal empezaron a ser sustituidas por maquinaria pesada, un proceso en el que seguimos inmersos. Las primeras máquinas sufrieron un movimiento en contra: los luditas (llamados así por Ned Ludd, un trabajador del condado de Leicestershire que supuestamente destrozó varios telares en 1779), que destruían las máquinas al ver que les quitaban sus puestos de trabajo. El ferrocarril, con su penacho de humo, se convirtió en símbolo de progreso, y causó no poco asombro, incluso, pánico. Hasta hubo quien pensó que la tremenda velocidad de aquellos primeros trenes no podría ser soportada físicamente por el cuerpo humano, del mismo modo que cuando los automóviles superaron la barrera de los 50 km/h. Ahora tenemos trenes de alta velocidad, y viajamos tan tranquilos mientras tomamos un café en la cafetería y miramos el mundo pasar vertiginosamente por la ventana. En aquella época, los trenes comenzaron a usarse en entornos mineros, muy asociados al transporte de carbón (el primero en España fue en la asturiana mina de Arnao), pero acabaron siendo usados para otros fines. Además de

la citada, las tres primeras líneas en España fueron entre Madrid y Aranjuez, Barcelona y Mataró y Langreo y Gijón (precisamente un tren que llevaba el carbón de las cuencas mineras al puerto costero), todas durante el reinado de Isabel II.

Con la Revolución industrial surgen además nuevas clases sociales. Por un lado, la burguesía industrial, la propietaria de las fábricas y receptora de la mayor parte de los beneficios de industrias como la textil, la minera o la metalúrgica. Estas personas disponían del capital necesario para levantar factorías, comprar materias primas y maquinaria y contratar a trabajadores. Del feudalismo se pasó al capitalismo (la acumulación de capital permitió la inversión en la producción) y la burguesía capitalizó diversas revoluciones que le permitieron conseguir mayor rédito político, tradicionalmente en manos de la aristocracia y la monarquía. El liberalismo económico, que se difundió por aquellos tiempos fruto de las ideas de Adam Smith, sirvió como catalizador para el sistema de libre empresa sin intervención estatal o gremial.

Por otro lado, el proletariado, formado por miles de personas pobres que abandonaban el campo para trabajar en las fábricas de las ciudades. Había duras condiciones laborales: jornadas largas, de 12 o 14 horas, bajos salarios, trabajo infantil, viviendas precarias en hacinados barrios obreros. Se trataba de mantener a los trabajadores en una economía de subsistencia, que tuviesen lo justo para sobrevivir y seguir produciendo. Así empezó a gestarse un comprensible movimiento contestatario: el movimiento obrero, que, mediante sindicatos, partidos, huelgas, revueltas y protestas, buscaba mejorar las condiciones de vida de los trabajadores y fue alimentado por ideas de autores como Marx o Bakunin, que también transformaron la sociedad hasta nuestros días.

Entre otras considerables consecuencias de esta primera Revolución industrial, cabe destacar: el aumento demográfico, la citada emigración masiva del campo a la ciudad, el poderío mundial del Imperio británico y el inicio de la sociedad de consumo, al producirse bienes más asequibles para todos. En fin, se puso en marcha un proceso en el que todavía estamos inmersos. Y esta no sería la última revolución industrial que afrontamos.

ELECTRICIDAD Y CADENA DE MONTAJE: LA SEGUNDA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

Puede cifrarse el origen de la segunda Revolución industrial

(aproximadamente durante el periodo entre 1870 y 1914, la también llamada *Belle Époque* antes de la nefasta Primera Guerra Mundial) en el desarrollo de la electricidad y la producción en serie, entre otros avances.

Siguiendo el modelo de Rifkin, la energía en este caso fue la del gas, el petróleo (que permitirá el motor de explosión y el automóvil) y la citada electricidad (que pasó a alimentar las máquinas de las fábricas). El teléfono y la radio revolucionaron las comunicaciones; el avión y el automóvil, el transporte. Una vez más energía, transporte y comunicación. La preponderancia de la industria siderúrgica, y no de la textil como anteriormente, y el uso de nuevos materiales, como el acero (mediante el convertidor Bessemer), el aluminio, el cinc, el níquel o el cobre, también tuvieron vital importancia. Estos materiales comenzaron a utilizarse para construir vehículos, puentes o edificios cada vez más altos. La construcción, basada ya en el acero y el ego de sus mecenas, daría lugar a los primeros rascacielos en ciudades como Nueva York y Chicago. En 1931, con 77 plantas y 319 metros de altura, de la mano de Walter P. Chrysler, pionero estadounidense de la industria del automóvil, el Edificio Chryler ostentó el título de edificio más alto del mundo durante 11 meses, hasta que lo superó el Empire State Building, con 380 metros de altura, de la mano de John J. Raskob y Pierre S. du Pont, el primer presidente de General Motors, también ligada al mundo del automóvil. Durante cuatro décadas, hasta 1971, año en que se completó la construcción de la torre norte del World Trade Center, hoy tristemente desaparecida, fue el edificio de mayor altura jamás construido.

No era casual que tras el rascacielos más alto del mundo estuviera Pierre S. du Pont, presidente además de una de las empresas más exitosas de aquella época, responsable de materiales de uso cotidiano tan conocidos como el Vespel, el neopreno, el nailon, la licra, el plexiglás, el teflón, el kevlar, el Nomex, el Tyvek, Sontara o el Corian. Su empresa, que en la actualidad cuenta con unos 64.000 empleados en todo el mundo y es una de las más grandes multinacionales de química del planeta (junto con otras como Basf o Dow Chemical Company), tuvo un papel relevante junto a Henry Ford en el esfuerzo bélico de Estados Unidos durante la Segunda Guerra Mundial, incluido el proyecto Manhattan, del que más tarde os hablaré.

La industria química también conoció grandes innovaciones en cuestión de fertilizantes, explosivos, perfumes o medicamentos. Los cambios, una vez

más, fueron más allá de lo tecnológico.

Pero no olvidemos a la física. Muchos inventores y científicos relacionados con la electricidad se vieron implicados en los orígenes de esta revolución. Por ejemplo, Nikola Tesla, nacido en la actual Croacia, cuya curiosa figura ha vivido un *revival* en los últimos años casi como un icono contracultural, y cuyo apellido da nombre a la empresa del emprendedor, visionario y multimillonario Elon Musk. Otro nombre ineludible es el de Thomas Alva Edison, el inventor por antonomasia. Sus más de mil invenciones contribuyeron de manera decisiva al avance tecnológico y a la mejora de la vida cotidiana. En 1881 Edison presentó en la Exposición Universal de París la bombilla, un filamento incandescente de carbono encerrado al vacío en un bulbo de vidrio (el primer modelo viable, con 40 horas de duración, aunque existían prototipos anteriores), que iba a extender por el mundo el alumbrado eléctrico: las centrales eléctricas no tardaron en aparecer por todo el territorio estadounidense, y luego mundial, abasteciendo a millones de hogares. Hasta ese momento, todos los hogares del mundo, para alumbrarse, para disponer de luz tras la puesta de sol, más allá de la luz de las velas, se nutrían de queroseno, también conocido como parafina, obtenida de la destilación del petróleo natural, también usada como combustible de aviones de reacción y en la fabricación de insecticidas. La llegada de Edison y su corriente continua causaba importantes inconvenientes y ponía en jaque al mercado, la oferta y la demanda. Tocaba resolver sus posibles inconvenientes, enfrentarse al status quo establecido hasta la fecha…

Para solventarlos, la compañía Westinghouse Electric contrató a ese extraño científico desgarbado, Tesla, que había salido enfadado y subestimado de la compañía de Edison, y comenzó la llamada «guerra de las corrientes», en la que, en lo relativo al transporte de la electricidad, Edison defendía la corriente continua, y Tesla, la corriente alterna. Había millones de dólares en juego. Tesla desarrolló una nueva forma de transmisión: la corriente alterna que, aunque era más «peligrosa», tenía notables ventajas. Pero empecemos por el principio: la corriente continua es aquella que fluye por un conductor entre dos puntos de diferente potencial, directamente, como se vierte agua de una jarra a un vaso. El problema de esta corriente radica en que se pierde mucha energía por disipación de calor al transportarla a grandes distancias, lo que hacía que no resultara muy rentable al llevarla de la central eléctrica a las localidades donde se utilizaba. Así que Tesla ideó la corriente alterna: el voltaje

variaría en cada extremo del conductor, de modo que la corriente cambiaría de sentido y magnitud periódicamente, varias veces por segundo, como una onda. En adelante, la corriente alterna, que no sufría tantas pérdidas y cuya tensión era fácil de modificar mediante transformadores (de alta tensión, ideal para transportar sin pérdidas, a baja tensión, útil para los aparatos), serviría para transportar la energía que luego, al llegar a los hogares o fábricas, alimentaría a los diferentes aparatos eléctricos: la lámpara o el frigorífico, en tiempos en los que se creaba la industria alimentaria y se comenzaban a producir en masa muchos alimentos. La corriente alterna, la que sin darte cuenta forma parte de cualquiera de tus viajes por carretera y las torres de alta tensión que surcan nuestra geografía, es la que se sigue utilizando hoy en día para el transporte de la electricidad. En medio de esa batalla tecnológica, Edison llegó a diseñar la silla eléctrica y, para intentar demostrar la peligrosidad de la corriente alterna, organizó eventos multitudinarios en los que mataba elefantes y otros animales en presencia del gran público. Pero Tesla ganó a Edison, regaló su invención a toda la humanidad (se dice de hecho que Tesla murió en la pobreza, aunque hay controversia sobre este hecho), mientras que Edison fue millonario gracias a la buena gestión de sus muchas patentes. Las siglas de corriente alterna (AC) y corriente continua (DC), habitual en los transformadores que a día de hoy utiliza tu portátil o tu televisión, en 1973, en Australia, la usaron los hermanos escoceses Malcolm y Angus Young para dar nombre a su banda de rock. Nacían, así, los AC/DC, para alcanzar la «paz»…

Más allá de la electricidad, en el ámbito de las comunicaciones, llegó también el telégrafo, inventado a principios del XIX por Samuel Morse, a través de largos cables terrestres y submarinos que unían todo el planeta. Más tarde, en la segunda mitad llegarían los tiempos de otras formas de comunicación a larga distancia: el teléfono de Alexander Graham Bell y Antonio Meucci, y la radio desarrollada Guillermo Marconi y el citado Tesla (a día de hoy considerado su verdadero inventor). Fueron momentos de duras luchas por el reconocimiento intelectual de infinidad de inventos, como sucedió entre los inventores citados para cada ingenio.

También fue el inicio de un nuevo concepto industrial, la producción en serie, iniciada por el ingeniero Frederic Taylor (el taylorismo), que se dio cuenta de que era más efectivo y rentable que los obreros produjeran en serie organizados de manera racional y científica, y también por el legendario empresario de automóviles estadounidense Henry Ford (el de la

marca de coches del mismo nombre, todavía en funcionamiento), que mecanizó la producción en cadena, inaugurando lo que se llamó fordismo. Si antes cada producto se fabricaba individualmente, ahora se construirían en serie, a través de varios pasos en los que un trabajador hacía una sola tarea repetitiva, como sucedió con el famoso modelo Ford T, el primer automóvil producido a gran escala y accesible para los trabajadores. Ford pensó que la gracia del asunto era que los propios currantes pudieran consumir lo que fabricaban. Para la idea de producción en cadena se inspiró en el matadero de Chicago, en el que los cerdos eran transportados por una cinta y cada pieza era seccionada por un carnicero, también de manera repetitiva. Esta idea se trasladó a todo tipo de fábricas: organizando el trabajo de esta manera se conseguía una mayor rapidez y un menor coste. Resultó una buena idea para mejorar la producción y los beneficios, aunque la experiencia de cada obrero era un poco más alienante, si cabe, aunque no seríamos justos si no reconociéramos que Henry Ford, en 1914, estableció medidas pioneras que fueron ampliamente aplaudidas por sus trabajadores: consiguió que ninguno de ellos ganara menos de 5 dólares al día en turnos de solo 8 horas y les ofreció 18 días libres pagados por vacaciones y enfermedad, una práctica poco común en ese momento, especialmente para los trabajadores no cualificados. Su historia está trufada de grandes hitos, incluida la primera aerolínea, la Ford Trimotor, en los albores de la aeronáutica.

En la línea de la producción en cadena, la película *Tiempos modernos*, de 1936, de Charlie Chaplin, satirizaba estos fríos modos de trabajo y la conversión del ser humano en un engranaje de la gran maquinaria.

Paralelamente a estos avances, se forman, también, la gran empresa y la banca moderna. Los costes para financiar las empresas mecanizadas y electrificadas crecen, de manera que además del capital familiar o societario es necesario aumentar el número de accionistas, creándose así las sociedades anónimas que cotizan en bolsa. Los bancos fueron importantes para financiar este modelo empresarial: es el origen del capitalismo financiero. Esta segunda Revolución industrial sucede en el marco de la primera globalización, que precedió a la actual, cuando aumenta el comercio internacional, el flujo de capitales y las migraciones masivas. El imperialismo se considera una buena forma de civilizar el mundo considerado salvaje, además de conseguir abundantes materias primas y nuevos mercados para los productos: a finales del XIX, en la Conferencia de Berlín, los países europeos se reparten el territorio africano

como quien juega a un juego de mesa. Son esos tiempos en los que la moderna y distinguida ciudad de París se convierte en el centro cultural del mundo, la época del modernismo y el Art nouveau, de la creación del cinematógrafo, que pasaba imágenes a gran velocidad creando la sensación de movimiento, por los hermanos Lumière, cuyos primeros filmes, muy apropiadamente, tienen como motivo una locomotora que se acerca y que creó el pánico entre los primeros espectadores, o la salida de los obreros de una fábrica.

ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES: LA TERCERA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

Pasado el tiempo, a mediados del siglo xx, después de la Segunda Guerra Mundial, comenzó la tercera Revolución industrial, también llamada Revolución científico-tecnológica, liderada por Estados Unidos, Japón y los países europeos, que es la que implica a los ordenadores y el inicio de la tecnología electrónica y la automatización.

Los procesos de producción industrial cada vez involucran más a la tecnología computacional y se produce una deslocalización de la producción. Las fábricas ya no están en los tradicionales países industriales de Occidente, sino que se trasladan, por ejemplo, a países asiáticos con menores costes laborales y menor regulación medioambiental. A finales del siglo xx se produce la definitiva globalización, un mundo interconectado por el que fluyen libremente los capitales y los productos, pero, como vemos cada día, no tan libremente las personas. La economía cada vez es más global. También nacen la sociedad de la información, causante de los cambios sociales y culturales, y la aldea global, donde todo el planeta está fuertemente interconectado y bajo la influencia de la cultura estadounidense (sobre todo después de la caída del muro de Berlín y el fin de ese mundo dividido en dos bloques de la Guerra Fría). Uno de los retos que plantea este último proceso histórico es la aparición de grandes desigualdades, tanto dentro de las sociedades como entre las naciones.

Siguiendo las ideas de Jeremy Rifkin, que trabajó prolijamente sobre esta revolución, las energías características de este proceso son las renovables (eólica, solar, etcétera); sus medios de comunicación, internet y las otras tecnologías de la información y la comunicación (TIC), que se convierten en la manera de organización y gestión, y sus medios de transporte, como estamos viendo en estos tiempos, serán los vehículos

eléctricos o híbridos. Algunos elementos por llegar de la tercera revolución, en opinión de Rifkin, son los edificios generadores de energía, las grandes baterías, la red eléctrica inteligente o la generalización de la producción de hidrógeno como almacenamiento de energía.

La tercera Revolución industrial comienza con las primeras máquinas computadoras, aparatos enormes y poco potentes (miles de veces menos que cualquier *smartphone* actual) fabricados con relés o con válvulas de vacío. Por ejemplo, el ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer), desarrollado en la Universidad de Pennsylvania y presentado en 1946 por el ejército estadounidense, que ocupaba una habitación entera y hacía cálculos balísticos (calculaba la trayectoria de proyectiles) con sus 18.000 válvulas de vacío. Se configuraba minuciosamente enchufando y desenchufando gran cantidad de cables y tenía errores *(bugs)* con facilidad. La evolución de las computadoras, novedosas máquinas diseñadas no para resolver un problema sino para resolver cualquiera que sea programable, se ve luego impulsada por la invención de los transistores, los lenguajes de programación, los circuitos integrados (circuitos impresos en placas de semiconductor que evitaban la dificultad de conectar miles de componentes) y los microchips, que propician la llegada de unos ordenadores cada vez más pequeños, potentes y baratos, al alcance de todas las personas que acabarán conectadas en una red global.

El año 1977 se antoja una fecha importante. Es cuando dos jóvenes llamados Steve Jobs y Steve Wozniak desarrollan el ordenador personal llamado Apple II, el primero que saca a los ordenadores del ámbito especializado del ejército, la ciencia o las grandes corporaciones para ponerlos en manos del ciudadano de a pie, después vendría el PC de IBM. Los ordenadores empiezan a formar parte de las pequeñas empresas e, incluso, hay quien (con gran poder adquisitivo) los tiene en sus hogares; comienzan a aparecer programas de entretenimiento como los videojuegos. Se trata de unas tecnologías que se promueven desde el californiano Silicon Valley, donde, en el caldo de cultivo de una mezcla de la contracultura hippy de los años sesenta y el espíritu de emprendimiento, progreso y competición, se fundan las grandes empresas tecnológicas que se expanden sobre la faz de la tierra, donde acabarían dominando el panorama mundial nombres como Google, Facebook, Amazon o Apple.

Y llegan los noventa, cuando, proveniente de redes predecesoras como Arpanet (que conectaba centros militares y de investigación científica), se asienta internet y crece el protocolo World Wide Web (WWW) que

desarrolló el científico de computación Tim Berners-Lee en el CERN, el Centro de Investigación Nuclear de Ginebra y, como ya hizo Tesla, regaló a toda la humanidad. Aparecen los primeros navegadores, como Mosaic o Netscape Navigator, y los primeros buscadores, como Yahoo!, Altavista o Lycos, y la red informática comienza a ser de utilidad en centros de trabajo y hogares, así hasta convertirse en el espinazo digital que vertebra nuestra realidad cotidiana. El mundo había cambiado para siempre, una vez más, tecnología mediante.

Años más tarde, la telefonía móvil supuso un gran salto en cuestiones de comunicación: ya no hacía falta estar cerca de un teléfono fijo para comunicarnos y nos hicimos localizables en cualquier momento a través de un aparato que llevábamos en el bolsillo, aunque en principio fuera extremadamente pesado.

El verdadero salto cualitativo se dio cuando ese teléfono se hizo más ligero pero sobre todo más inteligente (tal vez más inteligente que nosotros mismos). Con la llegada del *smartphone* (fue Invento del Año por la revista *Time* en 2007, hace no tanto tiempo) pudimos acceder a internet en cada momento y lugar, y, al mismo tiempo, internet también pudo acceder a nosotros de manera constante, de forma que nos convertimos en un nodo más en una red mundial de extracción de datos. Hay quien ha hablado, como la socióloga Shoshana Zuboff, de una nueva fase en el «capitalismo de la vigilancia».

INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y BIG DATA: LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

A día de hoy, en la segunda década del siglo XXI, hay quien ya habla, como Klaus Schwab, fundador del Foro Económico de Davos, de una cuarta Revolución industrial, a riesgo de abusar del término revolución y caer en el presentismo: el pensar que la época en la que vivimos es especialmente importante (por lo general debido al hecho de que nosotros estamos vivos). Según Schwab, en este proceso los sistemas de fabricación virtuales y físicos ya cooperan entre sí: la cuarta Revolución industrial no solo va a cambiar lo que hacemos o cómo lo hacemos, nos va a cambiar a nosotros mismos.

Es en la que estamos inmersos en la actualidad y se fundamenta en la aplicación de las más novedosas tecnologías, como la inteligencia artificial, el internet de las cosas, la realidad virtual, la impresión 3D o el big data a

la industria, lo que resulta en la llamada industria 4.0. Pero no se trata solo de eso, también otros conceptos, como la secuenciación genética, la robótica, la analítica, la computación cuántica o la nanotecnología, influyen o influirán en nuestro futuro. En este sentido, suele utilizarse el término «tecnologías convergentes» para agrupar cuatro disciplinas: nanotecnología, biotecnología, industrias cognitivas y las tecnologías de la información; también tecnologías NBIC, por nano, bio, info y cogno. La unión de todas estas tendencias, que venían operando por separado, puede dar, para bien o para mal, resultados propios de las películas de ciencia ficción. La mente humana cada vez se conoce mejor a sí misma y está más preparada para interaccionar con lo tecnológico.

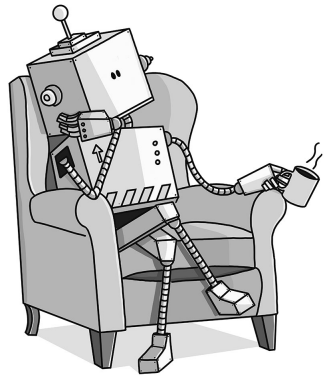
Esta industria está ya fuertemente trabada con internet: los sensores producen infinidad de datos que permiten monitorizar y optimizar todos los procesos de producción. Mediante los procesos de digitalización, las fábricas se hacen «inteligentes». Las máquinas pueden predecir fallos de manera autónoma e iniciar los procesos de mantenimiento, la logística se organiza sola ante los cambios inesperados en la producción. Es decir, si con los avances informáticos de la tercera Revolución industrial los seres humanos manejaban máquinas que realizan la producción, el cambio en estos nuevos tiempos sería que estas máquinas ya pueden funcionar, en gran medida, prácticamente solas, y quizá mucho mejor que bajo supervisión humana. La industria 4.0 mejora una vez más la productividad, la eficiencia y la calidad en los procesos, es mucho más segura para los trabajadores que resten, ya que no tendrán que trabajar en entornos inseguros, y permite la elaboración de productos personalizados según el capricho de los consumidores. Por ejemplo, podríamos elegir a la carta las zapatillas deportivas que queramos como hacemos con los ingredientes de una pizza, y esas zapatillas se fabricarán en tiempo récord expresamente para nosotros.

Dentro de los inconvenientes de los últimos desarrollos tecnológicos está la gran velocidad a la que se implementan, que parecen dejarnos fuera de juego, la mayor vulnerabilidad a la ciberdelincuencia y a cualquier contingencia como la caída de la red o los apagones. Dependemos tanto de la tecnología que esa dependencia nos hace más frágiles, mucho más frágiles. Aunque el gran problema que se plantea en el horizonte es otro: la automatización creciente de la industria y de los demás ámbitos de la producción y la vida puede llevar a una creciente pérdida de puestos de trabajo que haga que los seres humanos se queden sin empleo, mientras

que las máquinas trabajen para sus dueños, lo que generaría gran pobreza y desigualdad. Gran parte de la población se quedaría sin utilidad dentro del sistema.

Hay quienes opinan que esta posibilidad es muy real, y que sería necesaria una renta básica universal para mantener a flote a la población, dedicada ya a sus labores personales y no a lo que comúnmente conocemos por trabajo: un mundo deslaboralizado, postrabajo. Otros piensan que la escasez masiva de empleos es una posibilidad muy remota: al fin y al cabo, todas las revoluciones industriales tuvieron su cuota de automatización y generaron desempleo (recordemos a los luditas destructores de máquinas) y siempre se recuperó el equilibrio. Se argumenta que las nuevas tecnologías requerirán nuevos profesionales altamente cualificados para el control y mantenimiento de las máquinas inteligentes, pero cuesta creer que se vayan a necesitar tantos como trabajadores de cuello azul: ¿dónde estaría entonces la ventaja de automatizar? Es cierto que en todas las revoluciones industriales se sustituyó a los humanos, pero la inteligencia artificial es para muchos un punto de no retorno, una tecnología demasiado potente, que trata de equipararse a la inteligencia humana, y que no puede compararse con nada visto antes.

Se necesitará, pues, un nuevo sistema económico, que algunos llaman poscapitalista, que consiga facilitar una vida digna a todos los habitantes del planeta, que ponga el bienestar humano en el centro antes que el ciego crecimiento económico, al tiempo que mantiene al planeta en condiciones de ser habitable por los humanos, o por quienes demonios seamos en el futuro. Pero eso ya es eso: el futuro.



BLACK SKY HAZARD is coming

20 de julio de 2046. 16.06 p.m. (GMT 0)

Interesante, sobre todo al final cuando dice que la inteligencia artificial trata de equipararse a la inteligencia humana, que no puede compararse con nada visto antes. Evidentemente es incomparable; de hecho, a estas alturas, habría que definir a qué le llamamos inteligencia… Pero tras leer los apuntes del profesor, continúo con mi viaje particular en el verano en el hemisferio norte de ese 2046…

Y llegó el 20 de julio, 77 años exactos después del primer paso del hombre en la Luna. A todo lo que os comentaba capítulos atrás, a partir de este momento, empezaréis a encontrarle un sentido. Treinta minutos después de la primera alarma, los primeros rayos cósmicos de la supertormenta erosionaron los paneles solares de todos los satélites. Perdimos todas las comunicaciones en el acto. La red eléctrica mundial, también muy frágil, dejó literalmente de funcionar 2 horas después. Los grandes transformadores están conectados a tierra y, por tanto, como así ocurrió, son susceptibles de ser dañados por las corrientes continuas inducidas por las perturbaciones geomagnéticas. Algunos pocos evitaron la destrucción de sus núcleos magnéticos, pero la inmensa mayoría de centrales eléctricas y subestaciones dejaron literalmente de funcionar.

No hacía falta tener mucha imaginación para sospechar lo que vendría después. Black Sky Hazard había comenzado. Sin electricidad, sin telecomunicaciones, el mercado financiero global, la banca se vino

abajo. Hacía ya 5 años que no usábamos papel moneda ni dinero en metálico para ninguna transacción comercial. El dinero, los ahorros de toda la humanidad habían desaparecido en solo unas horas. Con ello la posibilidad de comprar absolutamente nada. Comenzaron los primeros saqueos a los supermercados y el «sálvese quien pueda». Hasta que se agotaron las existencias, claro. En las grandes metrópolis reina el caos.

4

PATITOS DE GOMA Y TUPPERWARES: ASÍ LOS PLÁSTICOS COLONIZARON LA VIDA

Hubo una vez que los océanos se llenaron de patitos de goma. Fue en 1992 cuando, en invierno, un carguero repleto de estos patitos naufragó, por causa de una tormenta tremenda, en mitad del enorme océano Pacífico. Se liberó al mar la carga del buque: casi 30.000 animales de plástico de los que transportaba. Castores, ranas y tortugas de todos los colores, ideados para que las niñas y los niños (y algunos adultos) jugasen en la bañera, y que comenzaron así un viaje no planeado que los llevaría a las más remotas costas de la tierra. Que se viertan plásticos al mar es una salvajada, pero al ser estos plásticos adorables patitos, la cosa se ve de otra manera. Pero no nos engañemos.

Lo curioso es que el periodista Donovan Hohn se ocupó de localizar a los patitos por todo el planeta y de recogerlos. Viajó de Alaska a Escocia, de Hawái a China, viviendo una gran aventura que narró en el libro *Moby-Duck*, que según el periódico estadounidense *The New York Times* fue uno de los mejores de 2011. Una historia fascinante que, además, demostraba cómo todo el sistema oceánico terrestre está conectado: si contaminas en un lugar, por remoto que sea, estás contaminando el planeta entero. A

pesar de todo, el vertido de plásticos al mar de manera masiva es uno de los grandes problemas medioambientales que enfrentamos. Unos ocho millones de toneladas de plástico acaban en el océano cada año (lo que significa unos 200 kilos por segundo), de modo que en 2050 habrá más cantidad de plástico que de peces, según cálculos de la Fundación Ellen MacArthur.

LOS ORÍGENES DEL PLÁSTICO

La búsqueda por parte del ser humano de un material moldeable y duradero se hunde en la noche de los tiempos, pero una posible fecha del inicio de la era del plástico puede colocarse en el momento en el que se empezó a usar el celuloide, cuya invención se atribuye a John Wesley Hyatt en 1870, para sustituir al marfil, caro y de difícil obtención. Hasta entonces, el marfil de elefantes, en grave peligro de extinción, para producir bolas de billar y teclas de piano suponía la caza de hasta 100.000 ejemplares al año con este fin. De hecho, en 1860, Phelan and Collander, un importante fabricante de billares, ofreció una recompensa de 10.000 dólares a quien inventara un material similar al marfil. No sabemos si por conciencia ecológica o porque cazar elefantes en África y transportar el material era sumamente caro.

El celuloide que desarrolló Hyatt no es un material sintético como los plásticos actuales, sino que se obtiene de la celulosa vegetal mezclada con alcohol o alcanfor para conseguir nitrato de celulosa. Con el nuevo material se pudieron fabricar multitud de artefactos, incluso era posible producirlo en forma de finas láminas, de *film*, lo que permitió el nacimiento de la industria del cine con los hermanos Lumière (por eso la palabra celuloide se usa tanto en la industria cinematográfica: «Los locos del celuloide», que ahora escasean ante la tecnología digital). El problema del celuloide reside en que es fácilmente inflamable: las películas ardían con facilidad y, a veces, para gran sorpresa de los jugadores, las bolas de billar explotaban generando caos y destrucción en mitad de una partida (por eso no fue del gusto del fabricante de billares y Hyatt se fue con los bolsillos vacíos).

Eso no pasaba con su material sucesor, la baquelita, un material ya totalmente sintético, ideado para diferentes usos domésticos y realizado a partir de una mezcla de fenol y formaldehído. Cuando oigo hablar de baquelita me imagino a mis mayores, tal vez porque cuando yo era niño

había muchas cosas de baquelita y, por tanto, se hablaba mucho de ella. Fue un invento de un tal Leo Baekeland, en 1907, que tenía como virtudes ser resistente a los pequeños cambios de temperatura, al ácido y a la humedad. La baquelita se puede moldear en caliente y luego al enfriarse se va endureciendo. De baquelita estaban hechos los típicos teléfonos fijos en los que se marcaba el número metiendo el dedo en una rueda y tenían un cable en espiral que iba al auricular. Vaya, los teléfonos de toda la vida que igual los más jóvenes ya no saben qué pinta tienen. A mí me siguen pareciendo románticamente valiosos.

En aquella época el celuloide y la baquelita comenzaron a sustituir a materiales tradicionales como la madera, el marfil, el carey o el vidrio. Con las baquelitas se hacían bonitos diseños de flores y colores, tanto que, en 2015, se les dedicó una exposición en el Museo Nacional de Artes Decorativas, en Madrid. Ahí se pudieron ver vajillas, adornos domésticos, fiambreras, cuberterías, exprimidores o jarrones, todo de baquelita. Las posibilidades de los plásticos no tardaron en encender la imaginación de los diseñadores y decoradores. Se la llamó «el material de los mil usos». Muchos de los objetos de baquelita son considerados hoy en día como piezas de colección, rollo *vintage*, que está muy de moda tanto en domicilios como en cafeterías.

Aunque probablemente el momento de despegue de los plásticos fue después de la Segunda Guerra Mundial. Durante el conflicto bélico, el ejército estadounidense se había propuesto sustituir en la mayor medida posible todos los elementos de metal, madera y otros por plásticos ligeros y resistentes. El plástico tenía muchas virtudes (algunas acabarían siendo problemáticas): fuerte, muy duradero, ligero, resistente al agua, no biodegradable, flexible y tremendamente barato. Muchas veces la tecnología militar o espacial precede a la comercial, y este fue uno de esos casos: durante la guerra el método de fabricación de plásticos era considerado *top secret,* pero después de esta se abrió ese conocimiento al público, coincidiendo con la apacible época del consumismo de los años cincuenta: señores que salían a trabajar en coche de la urbanización y señoras que se quedaban todo el día al cargo de la casa y de los hijos, familias aparentemente felices en la periferia, con jardín, perro y cortacésped. Ahí empezó a extenderse el plástico como un virus. Cuando buena parte de la población pudo a acceder a bienes de consumo, como electrodomésticos, los plásticos invadieron la vida cotidiana de una manera de la que ni siquiera somos conscientes.

PLÁSTICO POR TODAS PARTES

Si uno mira alrededor, no para de ver elementos de polímeros, de plásticos: la funda del teléfono móvil, la montura de las gafas, la carcasa del ordenador, la mesa del bar de desayunos, el bolígrafo, el rótulo de la frutería, el palo de la escoba, las clavijas de la guitarra, el suelo de vinilo que simula el parqué (aunque evidentemente no es lo mismo), los compact discs (¿siguen usándose aparte de para espantar a los pájaros?), la gran variedad de envoltorios para todo tipo de cosas, las prótesis ortopédicas… Es difícil pasar demasiados minutos de vida cotidiana sin tocar alguna cosa de plástico. El cubo que tengo en la cocina para arrojar los plásticos, que luego pongo en el contenedor de reciclaje, se llena irremediablemente a diario de voluminosos envases, de todo tipo de envoltorios y celofanes; es como si fuera imposible frenar ese chorro de plástico que entra en casa para luego ser de nuevo desechado. A veces me pongo a pensar y me resulta absurdo. Fíjate: cuando entras en un supermercado, no ves casi comida. Lo que se ve es plástico, brillante o mate, azul o rojo, duro o blando, pero plástico, atractivos plásticos incomestibles por todas partes.

¿Cómo hemos llegado a esto? Ya os avanzaba que a mediados del siglo XX cuando la industria petrolífera y la industria química llegan a una feliz entente: la industria petroquímica, que creció mucho en esos años. Resulta que en esas fechas empieza a usarse masivamente el petróleo para obtener combustibles y otros fines industriales: del petróleo, como una gallina de los huevos de oro, se obtienen un montón de cosas: gasolina, gasoil, queroseno, gas licuado, que se consiguen mediante procesos de destilado, pero también cosas menos obvias, como fertilizantes, pesticidas, herbicidas, asfaltos, fibras sintéticas y los susodichos plásticos que nos ocupan. Cualquier uso para los residuos de los procesos del petróleo es un negocio redondo. Entonces se descubre que con el etileno, uno de esos residuos, puede formarse un útil plástico, el polietileno, un material incoloro y muy resistente (con él se hace film transparente, juguetes o bolsas de supermercado, de esas que conviene no usar). Lo mismo pasa con el propileno y el polipropileno, que es más frágil, pero que se puede colorear (con él se fabrican, por ejemplo, carpetas de plástico coloreado en las que guardar folios). Hay más «polis»: poliestireno, poliamidas o policloruro de vinilo, el famoso PVC de las ventanas y las tuberías, que puede ser extremadamente duro, versátil y resistente. Otra de las virtudes, y problemas, del plástico es su duración. Una botella de agua se bebe en unos

minutos, pero puede tardar mil años en degradarse. Todavía podríamos usar las katiuskas de Miguel de Cervantes, si hubiese habido katiuskas para ir a la batalla de Lepanto…

¿Por qué tantos plásticos llevan en su nombre el prefijo «poli»? La respuesta reside en la química y tiene que ver con la explicación de las prodigiosas propiedades el plástico, sobre todo su enorme plasticidad (razón por las que se llaman así), que es la capacidad de un objeto para deformarse sin romperse cuando se le aplica una fuerza externa. Los plásticos son polímeros, macromoléculas larguísimas formadas por la unión indefinida de monómeros, que son las moléculas que ejercen como eslabón de la cadena. Esto se produce gracias a la gran capacidad de los átomos de carbono para enlazarse, que así se convierten en el espinazo de los polímeros. Los polímeros pueden ser lineales, tener ramificaciones o estar entrecruzados, como formando redes. Dependiendo de su estructura tendrán diferentes propiedades fisicoquímicas.

Ya había polímeros naturales, como la lana, la seda o la celulosa (cuyo monómero es la celulosa), pero hasta finales del siglo XIX no llegan estos polímeros sintéticos, como hemos visto. El polietileno, es una cadena de etilenos, y el polipropileno, una cadena de propilenos. La flexibilidad y adaptabilidad de los plásticos viene de esa estructura molecular: igual que es muy moldeable una cadena o un collar de abalorios o de perlas, así son estas moléculas. Según lo apretados o no que estén los abalorios/monómeros, más flexible o rígido será. En el mundo del plástico encontramos tipos durísimos, con los que se hacen muebles o carcasas de electrodomésticos, y otros muy flexibles y maleables, como los celofanes que se usan para envolver productos o los manteles de hule sintético (hay hule natural, hecho de savia de plantas).

Mención aparte merece otro polímero, el nailon (que proviene del nombre de la marca comercial Nylon), que pertenece al grupo de las poliamidas. Fue desarrollado, ya os lo avancé, por la empresa química DuPont en la década de los años treinta del siglo XX, obra del químico Wallace Carothers. El nailon, fácilmente convertible en hilo, la primera fibra textil completamente sintética (solo hacía falta carbón, aire y agua, como repetían desde la empresa), consiguió que los plásticos no solo se utilizasen para fabricar diferentes utensilios, sino que fueron empleados incluso para vestirnos, al sumarse de forma indiscriminada en la industria textil, como en el caso de las famosas y resistentes medias de nailon, más fuertes y baratas que sus antecesoras de seda, también de DuPont. El día

que se pusieron a la venta las medias de nailon se agotaron todas las existencias: cinco millones de ejemplares, un verdadero éxito. Pero durante la Segunda Guerra Mundial escasearon las medias, porque todo el nailon se dispuso para fabricar paracaídas con los que luchar contra el fascismo. Otras utilidades fueron los cordones de zapatos, los chalecos antibalas, las mosquiteras o las cuerdas de remolque. Hay quien dice que la fibra «ganó la guerra», igual es algo exagerado. Por cierto, Carothers, el inventor de nailon, tenía graves problemas de depresión que le llevaban a dudar siempre de su gran talento y nunca pudo disfrutar demasiado del éxito de su invención. Dos años después de desarrollar el nailon se quitó la vida bebiendo jugo de limón con cianuro potásico en un hotel de Filadelfia.

Otro plástico de gran uso durante la Segunda Guerra Mundial fue el teflón, un polímero similar al polietileno, algunas de cuyas aplicaciones se encontraron dentro del Proyecto Manhattan, con el fin de construir la bomba atómica, pero que después de la guerra acabó convertido en un útil recubrimiento para hacer sartenes antiadherentes en las que cocinar fácilmente tortitas, huevos y tortillas. La contienda mundial generó una gran demanda de caucho para hacer ruedas, pero el caucho natural, proveniente del látex de ciertos árboles, comenzó a escasear. Es cuando se desarrolló un caucho artificial, el neopreno, que pronto dobló con facilidad la producción de caucho natural. Ahora es famoso por otro uso, también más pacífico, en el traje elástico que los surfistas utilizan para mantener la temperatura cuando cabalgan las olas. De nuevo, DuPont, ya os he hablado de él, Empire State Building mediante…

Después de la guerra viene el citado auge del consumo, y destaca un producto que todos conocemos: el envase TupperWare, inventado por Earl Silas Tupper en 1947, que había trabajado, cómo no, en DuPont, y que causó furor en las reuniones caseras que tenían algunas amas de casa como mi madre, en una época donde todavía la mujer era cargada con el monopolio de las tareas domésticas y solo podía aspirar a vender productos Avon o TupperWare a sus «amigas». Actualmente los táperes, de diferentes marcas y orígenes (la patente expiró en 1984), siguen en activo, fabricados de polietilenos, policarbonatos y polipropilenos, ¿quién no los usa para almacenar o transportar comida? Mi nevera está llena de táperes. Tengo un armario en la cocina dedicado exclusivamente a ellos, cada uno con su tapa y su color, en constante y entrópico desorden… A partir de ahí, la formica también se hizo famosa: una superficie resistente y muy fácil de limpiar que tuvo gran éxito a la hora de recubrir mesas, barras y mostradores,

incluso con motivos coloridos o artísticos. Por no hablar del poliéster, otro hito de los plásticos que se popularizó en la segunda mitad del siglo XX, que seguro que os suena de las etiquetas de la ropa. En efecto, el poliéster es una fibra plástica de gran utilidad en la industria textil y muy barata, de modo que hoy en día representa el 50 % de las fibras que se utilizan, a pesar de haber sido criticado por no dejar transpirar bien el cuerpo o por tener un tacto no demasiado agradable. De hecho, es la fibra por antonomasia de la moda *low cost:* si es barato, es muy probable que sea poliéster.

Durante sus primeros años, el plástico fue visto con fascinación: ponía al alcance de todos, cosas que antes solo podían tener unos pocos, en torno a él se produjo un proceso de democratización del consumo. Quizá precisamente por eso, por el afán de distinción del ser humano, con el tiempo el plástico dejó de ser tan bien visto, como señal de progreso y modernidad, y empezó a considerarse sinónimo de las opciones más baratas y de peor calidad. Al fin y al cabo, cualquiera podía tener cosas de plástico. Cuando algo es «de plástico», «plasticoso» o «plastificado» solemos pensar que se trata de un sucedáneo de baja categoría, producido en serie, de mal gusto o sumamente artificial, algo para las masas sin clase que abarrotan los bazares. Todo lo malo junto frente al creciente interés por lo único, lo artesanal, lo sano, lo hecho lentamente. Tal vez vemos el plástico, a pesar de ser una creación humana, como algo ajeno y extraño, casi alienígena, quizá por esas propiedades de resistencia tan extrañas: los seres humanos nacen y mueren y el plástico ahí sigue, impasible. Que el mundo esté inundado de plástico que lo contamina, tampoco ayuda a su reputación. El plástico fue una estrella, pero como muchas estrellas del rock o del cine acabó cayendo en desgracia. Eso sí, sigue siendo un material de referencia para la gente más *kitsch:* durante la Movida madrileña se alabó mucho al plástico, como en la canción *La chica de plexiglás* de Aviador Dro, también en la canción *Barbie Girl* de Aqua, con ese verso que dice: «I think plastic is fantastic». Bien pensado, la muñeca Barbie ha sido la gran musa de plástico (sin olvidarnos del apuesto Ken). Y, no lo olvidemos, se sigue produciendo de manera ingente, aunque no se presuma de él, sino todo lo contrario.

BASURA Y RECICLAJE

En la década de los sesenta, los turbulentos años de la contracultura y el hipismo, el plástico empezó a estar mal visto como símbolo del sistema industrial y oponente de la vida natural, además de que empezaban a ser evidentes los primeros problemas de contaminación, o incluso sospechas del carácter cancerígeno de algunos tipos de plástico, como el PVC. Empieza, también, la idea del reciclaje, en la que seguimos inmersos. En realidad no es una idea nueva: la naturaleza lleva reciclando desde siempre; de hecho, el petróleo del que se forman los plásticos no deja de ser un producto reciclado, formado por materia orgánica de hace millones de años (se dice que a partir de tristemente dinosaurios muertos) sometida durante mucho tiempo a ciertas condiciones extremas de presión y temperatura, de ahí que lo llamen combustible fósil. La era preindustrial, hasta el siglo XIX, es considerada por algunos historiadores como la edad de oro del reciclaje: los objetos manufacturados no abundaban, de modo que se buscaba siempre nuevos usos a los productos, como la ropa, los metales o las piedras. Lo de usar y tirar, tan propio de nuestros consumistas tiempos, les hubiera parecido un desperdicio y una locura a aquellas personas, y seguramente tendrían razón, como ya nos vamos dando cuenta. En las últimas décadas, y gracias a la presión del movimiento ecologista, parece que la población, los gobiernos y la industria empiezan a concienciarse de la importancia de reciclar.

¿Cómo se recicla el plástico? Sigue unos sencillos pasos: primero se recoge el material de los correspondientes contenedores y se traslada al centro de reciclaje; las botellas, por ejemplo, se prensan para formar balas y que no ocupen demasiado espacio. Una vez allí, se separan por tipos de plástico. Solo se puede reciclar un porcentaje, en torno al 65 % de lo que llega, el resto es posible que acabe en el vertedero o en otros usos. Luego son triturados en piezas muy pequeñas y lavados para eliminar impurezas. Después se procede al secado y centrifugado para eliminar los restos que hayan quedado y todo se homogeneiza mediante procesos mecánicos que logran un color y textura uniformes. Por lo general, el plástico, tras pasar por estos procesos, queda convertido en un montón de pequeñas bolitas, que luego se vuelven a fundir y a moldear para hacer nuevos productos. El reciclaje, por supuesto, es una buena idea, símbolo de nuestros tiempos tan sostenibles, de un mundo más verde y compasivo, pero resulta poco eficiente: si se producen en todo el planeta, aproximadamente, 300 millones de toneladas de residuos plásticos cada año, solo se recicla el 14 %, según informó en 2019 la ONU. De hecho, de todos los plásticos

producidos en la historia, solo se han reciclado un 9 %. Es un resultado pobre. Aunque, para ser justos, la industria química no es impasible a este reto. El reciclaje químico ya es una realidad, hay miles de iniciativas para revertir nuestra propia inconsciencia. Al igual que la tecnología, el problema no estriba en sí misma, sino en el uso que le damos. Con el plástico sucede exactamente lo mismo. El problema no radica en él, sino en como lo producimos, lo usamos, lo reciclamos, lo desechamos… No hay nada a tu alrededor que no sea plástico, hace que nuestra vida sea mejor, pero somos nosotros (y nadie más) quienes en principio tenemos neuronas y debemos estar concienciados para decidir cuál debe ser su ciclo vital.

Mucha de la basura plástica que arrojamos sin cuidado acaba en el mar. Y allí termina sumida dentro de las corrientes circulares que se producen en la superficie de los diferentes océanos, así se forman enormes islas flotantes, infinitos mares de plástico. Siempre me han inquietado esas montañas de basura flotante, lejos, muy lejos, donde nadie las ve, como las montañas de basura de los Fraggle Rock, pero flotantes, en mitad del Pacífico, a medio camino entre Hawái y California, ocupando nada menos que 1,6 millones de kilómetros cuadrados y albergando aproximadamente 2.000 billones de piezas de plástico. Es decir, casi tan grande como España, Francia y Alemania juntas.

¿Cómo llega allí? De muchas maneras. A través de vertidos en los ríos o en las costas, de basura en las playas, de un reciclaje deficiente. Cualquier plástico que se deje tirado por ahí es probable que acabe en un río, por acción de la lluvia o el viento, y finalmente en el mar. Es conocida la tragedia de las tortugas, que confunden los plásticos con alimenticias medusas, y otros animales marinos, como las aves, que mueren por asfixia o por ingerir plásticos, hasta 100.000 según estimaciones de WWF (Fondo Mundial para la Naturaleza). También afectan de manera notable a la salud de los arrecifes. No solo hay plástico en el océano, también en el polo norte o en las montañas. Y en la atmósfera. Según han demostrado algunos estudios, los microplásticos pueden permanecer una semana flotando en el aire antes de volver a caer al suelo. Por ejemplo, los neumáticos de los coches, fabricados en gran medida por plásticos, liberan a la atmósfera microplásticos en los momentos de arrancar, frenar o derrapar.

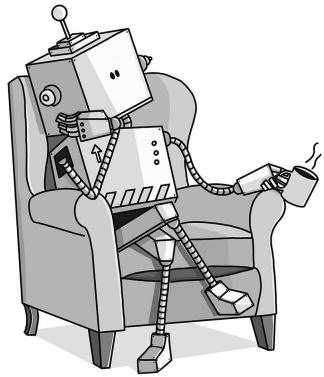
En los últimos años, científicos y ecologistas han señalado esta otra vertiente del problema, que cada vez es más conocida: los microplásticos son pequeños fragmentos de plástico, menores de cinco milímetros, que la acción del sol y del oleaje puede extraer de plásticos más grandes (botellas,

bolsas, etcétera), o algunos que son específicamente fabricados de ese tamaño, como los exfoliantes elaborados por la industria cosmética para limpiar la piel y eliminar células muertas. El mayor problema de los microplásticos es que se depositan en el pescado y el marisco, y, por si no fuera poco, acaban varados en nuestro propio organismo, siguiendo la cadena trófica. Todavía no se sabe a ciencia cierta qué efecto puede tener a largo plazo, probablemente ninguno bueno.

¿Estamos intentando revertir la situación? Por supuesto. Podríamos hablar de los llamados plásticos verdes, que no están hechos a partir de derivados del petróleo, sino a partir de elementos naturales. Recientemente se han comenzado a desarrollar plásticos basados en azúcares, con las mismas propiedades que los otros plásticos, pero degradables y reciclables. En 2021, España aprobó una nueva ley de residuos, en la que se veta la fabricación de elementos de plástico de usar y tirar como pajitas, platos y vasos, además de cosméticos o productos de limpieza con microesferas. Si lo piensas bien, es muy extraño fabricar algo de usar y tirar con un material que no desaparecerá nunca, al menos en términos temporales humanos. Otra medida curiosa: obligar a los bares y restaurantes a ofrecer agua del grifo a sus clientes para ahorrar en el uso de envases. ¿Alguna vez has pedido agua del grifo en un restaurante y se han negado a dártela? A mí sí. Podrán mirarte mal, pero todo sea por el medio ambiente. Y tu cartera.

Una forma de acabar con estos problemas, además de reducir el uso del plástico, sería fomentar la economía circular, cuya filosofía es reutilizar los residuos como si fueran materia prima: que nada se desperdicie. Resulta complicado, como sucede con tantos problemas medioambientales (por ejemplo, el reto climático), que estas cosas dependan de legislaciones nacionales, cuando enfrentamos un asunto global: los océanos, por los que viajan los patitos de plástico que salieron del naufragio, bañan todas las costas de la tierra. Además de la tremenda duración de esos materiales. Hay cosas que todos podemos hacer: utilizar bolsas reutilizables, evitar embalajes y comprar la comida a granel, beber agua del grifo antes que embotellada, pasar de los juguetes de plástico y maquinillas desechables. Si todos hacemos pequeños cambios, obtendremos grandes resultados, lo difícil es llegar realmente a una acción colectiva. Lo más triste es pensar que muchos de los esfuerzos humanos que quedan por delante deben centrarse en deshacer los entuertos que han hecho las generaciones anteriores, ya sea llenar la atmósfera de CO2 o los mares de plástico. No

obstante, dudo que haya habido alguna generación en la historia de la humanidad que no tratara de deshacer entuertos de generaciones anteriores. Se llama evolución y sentido común. Pero, insisto, el enemigo no es el plástico sino lo que hacemos con él. Representa uno de los inventos más fascinantes de nuestra civilización. Se trata simplemente de ser consecuentes, responsables y de sacarle partido de forma eficiente. Nada más. Y nada menos.



°NO SERºVICE

22 de julio de 2046. 08.02 p.m. (GMT 0)

Dos días después ya no es posible recargar combustible, del tipo que sea, en ninguna estación de servicio. Nuestras redes de transporte han caído también. Los mejores generadores de reserva han dejado de funcionar.

Los servicios de emergencia, incomunicados, incluso por radio, son incapaces de hacer frente a la situación y en los hospitales ha comenzado el racionamiento de medicamentos, alimentos, energía y, sobre todo, agua. Las potabilizadoras no funcionan ni las bombas de extracción y suministro; no tienen agua corriente. Los saqueos continúan, los alimentos perecederos comienzan a estropearse… No hay película postapocalíptica que pueda describir lo que se está viviendo en las calles.

5

UNA NAVE EN LOS ANILLOS DE SATURNO: CÓMO LA TECNOLOGÍA NOS PERMITE EXPLORAR EL COSMOS

«Es un pequeño paso para un hombre, pero un gran salto para la humanidad». Es la celebérrima (y preparada) frase que dijo, el 20 de julio de 1969, el astronauta Neil Armstrong al saltar de la nave Apolo 11 a la superficie lunar y dejar allí, en el silencioso y casi ingrávido polvo lunar, la huella de su contundente bota.

Era la primera vez que un ser humano pisaba un cuerpo celeste fuera de la Tierra, algo inimaginable antes. Los seres humanos, que habían mirado la Luna con arrobo y misterio desde el origen de los tiempos, habían conseguido escapar de su minúsculo mundo perdido en el océano cósmico para auparse un poquito más allá. Para el filósofo Aristóteles este satélite y su órbita separaban el mundo sublunar, imperfecto y sujeto al cambio, del mundo supralunar, inmutable, que estaba hecho de la eterna quintaesencia. Ahora, después de una miríada de avances tecnológicos, un par de milenios después, las personas, algunas personas, subíamos a ese límite y comprobábamos de primera mano que el universo era igual, en cuanto a las leyes de la naturaleza, más arriba que más abajo: qué diría el viejo pensador griego. También, comprobamos, algunos

desconsoladamente, que la Luna no estaba hecha de queso. Lo más fascinante de todo es que la misión Apolo 11 apenas disponía de una pequeña potencia de computación, mucho menor que la que podemos tener ahora mismo en cualquiera de nuestros móviles. Pero allí llegamos. Todavía hoy hay conspiranoicos que piensan que todo el asunto del alunizaje del Apolo 11 fue un montaje, filmado magistralmente por el mismo Stanley Kubrick que nos regaló una maravillosa e inquietante odisea en el espacio fechada en 2010. Otros también piensan que la Tierra es plana, a pesar de las impresionantes fotos de la Tierra esférica, con su azul oceánico y sus hermosas manchas nubosas, que los astronautas tomaron desde la Luna. No les digas que cambien de hemisferio para observar las estrellas, diferentes, desplazándose en el firmamento en direcciones opuestas. La Tierra es plana, dirán. Permitidme la broma pero si así fuera, como argumento irrefutable, algún gato ya habría empujado algo desde el borde.

INICIOS DE LA ERA ESPACIAL

La era espacial había comenzado algunos años antes, en 1957, cuando la Unión Soviética lanzó al espacio el primer artefacto de origen humano: el Sputnik 1 (la palabra significa en ruso «compañero de viaje»), un satélite artificial de unos 80 kilos que orbitó el planeta a casi 1.000 kilómetros de distancia. El aparato consistía en una esfera metálica con cuatro antenas que parecían cuatro finas patas como las de esas arañas *(Pholcus phalangioides)* que a veces se encuentran en las casas de campo, en los sótanos o en las cuevas. Su investigación aportó datos sobre la densidad de las capas más altas de la atmósfera y sobre la naturaleza de la ionosfera.

Pero, sobre todo, dio comienzo a la carrera espacial entre la URSS y Estados Unidos por ver quién ponía primero a una persona sobre el satélite. Fue el presidente John F. Kennedy quien, en un discurso en 1961, declaró que era un objetivo prioritario para su país poner a un estadounidense en nuestro satélite natural (y traerlo de vuelta sano y salvo). La que no regresó ni sana ni salva fue la famosa perrita Laika, que los soviéticos enviaron en el Sputnik 2, y que falleció de estrés, deshidratación y sobrecalentamiento durante su épico viaje (tampoco estaba previsto devolverla, aunque entonces se dijo lo contrario). La verdad sobre su muerte se supo mucho después, en 2002, cuando, en una charla durante el Congreso Espacial

Mundial de Houston, Dimitri Maláshenkov, uno de los responsables del proyecto, lo confesó. A la opinión pública soviética se le había contado un cuento: que a Laika se le había suministrado veneno algunos días después, y que su muerte había sido plácida, como le debería corresponder a toda una heroína. La realidad fue mucho más dura. Su sacrifico, como primer ser vivo en el espacio, dio algunos datos sobre cómo mantener la vida en esas circunstancias difíciles, aunque tampoco demasiados como para justificar su horrible muerte, según opinó otro de los responsables del envío.

Después vinieron otros seres humanos, como Yuri Gagarin, el primer cosmonauta, que dio una vuelta completa a la Tierra en la nave Vostok 1 en 1961: «La Tierra es azul», dijo desde ahí arriba. Gagarin había trabajado en una fundición de acero y luego se convirtió en piloto; después de su histórico viaje hizo carrera en política, como diputado: como se había convertido en un héroe las autoridades no le dejaron volar más al espacio, no fuera a acabar como Laika y se rompiese su mito, muy conveniente para la URSS. Sin embargo, lo inevitable acabó por suceder: en 1968 Gagarin falleció en un vuelo de entrenamiento en un caza MiG-15. El destino no se puede burlar, como sabía Edipo. Aun así, el programa Vostok logró poner a otros cinco cosmonautas en órbita, incluida la primera mujer, Valentina Tereshkova, obrera textil y paracaidista aficionada, que completó 46 órbitas a la Tierra durante tres días a bordo de la nave Vostok VI. Después se implicó a alto nivel en el Partido Comunista, donde ejerció labores políticas. Dicen que se lleva bien con Vladímir Putin.

Pero a estas alturas los norteamericanos estaban ya muy nerviosos, perdían su particular carrera de prestigio. Después del lanzamiento del primer Sputnik, los estadounidenses respondieron, aunque ya no era lo mismo, con su primer satélite, el Explorer 1, y luego las sondas Vanguard, y a continuación tanto la URSS como EE. UU. se enzarzaron en una competición de lanzamientos de satélites imposible de resumir en un solo libro. El programa Mercury estadounidense consistía en naves en forma de bala, sin alas, muy aerodinámicas, que podían albergar a un solo astronauta en órbita. Al grupo de siete astronautas seleccionados meticulosamente para las misiones los llamaron los Mercury Seven, aunque solo llegaron a volar seis y, en una de las misiones también participó un *space chimp* llamado Ham el chimpancé, el primer homínido en viajar al espacio exterior. Su aventura duró algo más de 16 minutos y la cápsula amerizó en el océano Atlántico, a 679 kilómetros de distancia del punto de

despegue. Aunque el rescate fue complicado debido al oleaje y al impacto, a Ham lo recogieron con vida, no como a Laika, y envejeció apaciblemente en un zoo, con todos los cuidados y los honores. Murió a los 26 años de edad.

Las misiones para los astronautas del Mercury no eran sencillas, los ingenieros debieron tener en cuenta los cambios bruscos de temperatura, la condición de vacío y la radiación espacial que se había descubierto hace poco, eso sin contar con los peligros de la reentrada en la atmósfera a alta velocidad y las elevadísimas temperaturas que se producen: no me gustaría estar en esa tesitura. Alan Shepard, el segundo ser humano en salir al espacio, después de Gagarin, realizó un vuelo suborbital en la nave Mercury Redstone 3, pero la trayectoria fue tan baja que el líder soviético Nikita Jrushchov se mofó de él: «Es un salto de pulga», dijo. A diferencia de Gagarin, que viajó en un vuelo automatizado, Shepard sí tomó el control de la nave, que tenía un montón de interruptores, circuitos y palancas. La misión Mercury demostró que la acción de los astronautas era fundamental para llevar a las misiones a buen puerto. Nueve meses más tarde de Shepard, en febrero de 1962, John Glenn se convirtió en el primer astronauta estadounidense que orbitó alrededor de la Tierra. Y muchos años después, en 1998, y ya inmerso en su carrera política, Glenn voló en el transbordador espacial Discovery, a los 77 años, por lo que se le considera algo así como el abuelo de las estrellas: la persona de mayor edad en abandonar el planeta. Todavía hoy ostenta ese honor.

Después del proyecto Mercury vendría el proyecto Gemini, cuya particularidad era transportar a dos personas y que sirvió para allanar el camino para el sueño de pisar la Luna: se hicieron multitud de maniobras, se acoplaron naves, se midió la resistencia de los humanos y se probaron los primeros paseos espaciales fuera de la nave. Paseos espaciales de una peligrosidad extrema, a velocidades relativas de decenas de miles de kilómetros por hora, expuestos a cualquier liviano incidente que pudiera dejarlos expuestos al espacio exterior… La película *Gravity*, de Alfonso Quaron, con alguna que otra licencia científica cuestionable, sería suficiente para entender de qué estamos hablando. Los astronautas del Gemini pasaron dos semanas enteras en el exterior, viviendo en un espacio mínimo y haciéndose encima sus necesidades. Con solo el 5 % del presupuesto del que tendría el proyecto Apolo, el programa Gemini no despertó demasiado fervor entre el público en general, se enviaron 10 misiones tripuladas desde Cabo Cañaveral en solo 20 meses, de modo que

el lanzamiento de naves espaciales, algo tan extraordinario, se convirtió en algo así como la rutina. Ya entonces los seres humanos nos cansábamos demasiado rápido de las emociones fuertes, nuestro efecto sorpresa es efímero, sobre todo en los últimos años. Lo extraordinario tiene un recorrido excesivamente volátil hoy en día. Esta serie está genial, pero ¿has visto…? Los efectos especiales de esta película son increíbles, pero ¿has visto…? ¿Y si solo se refiriera a películas o series? ¿No es cierto que cada vez menos cosas nos sorprenden o conmocionan el alma? Cada vez menos sorprendidos, más inalterables, más rocosos. Esperando el nuevo titular que diluya el anterior. Inmersos en una carrera, no del todo espacial.

Y LLEGÓ APOLO

Abraham «Abe» Silverstein, director de la oficina de programas de vuelos espaciales de la NASA en aquella época, recordó lo que había estudiado en la escuela sobre un dios que montaba un carro tirado por caballos alados, un arquero divino que podía alcanzar blancos a grandes distancias, tan brillante y poderoso como el mismo Sol, posiblemente, el más amado de todos los dioses. Ese dios de la mitología griega se llamaba Apolo. Y así se denominó el famoso programa espacial, que duró toda la década de los años sesenta y cuya misión número 11 puso a Neil Armstrong, Buzz Aldrin y Michael Collins en nuestro satélite natural, la Luna. En un primer momento el fin de este programa era lanzar misiones tripuladas de exploración para encontrar un lugar adecuado para, más adelante, alunizar. Pero con las prisas del presidente Kennedy, el alunizaje se hizo el objetivo prioritario. Se lanzaron varias misiones de prueba no tripuladas y 15 tripuladas. De entre esas 15, tres orbitaron la Tierra (Apolo 7, 9 y Apolo Soyuz); dos misiones orbitaron la Luna (Apolo 8 y 10); una misión tuvo que ser abortada (Apolo 13); tres fueron suprimidas por razones económicas (Apolo 18, 19 y 20) y seis misiones alunizaron, aunque a todo el mundo le suene solo una.

Tras el éxito de la Apolo XI, la primera que consiguió posarse en la superficie de la Luna, merece mención aparte la misión Apolo 13, cuyo fracaso (al menos en su objetivo principal) inspiró la película homónima protagonizada por Tom Hanks. El objetivo de la Apolo 13 era alunizar pero, tras dos días de navegación, la explosión de un tanque de oxígeno (que era imprescindible para respirar y para generar energía eléctrica), por

culpa de un sensor de temperatura estropeado, hizo que la misión se abortase. De ahí sale la frase «Houston, tenemos un problema», que los astronautas, más o menos, le dijeron a la base en la Tierra (en Houston estaba el centro de mando espacial). Una de las partes de la nave, la cápsula diseñada para el regreso a la Tierra, tuvo que apagarse para no gastar recursos y los tres miembros de la tripulación debieron trasladarse al módulo lunar, que solo estaba diseñado para dos personas.

A estas alturas, quizá habría que contar en qué consistía eso del módulo lunar. No muchos son conscientes de que el mayor problema de alunizar no era llegar a pisar la Luna, sino regresar, sanos y salvos, a la Tierra. Al igual que en toda película en la que se roba un banco o un museo… El problema no es conseguir robar la gema del infinito, sino huir con el botín; en el caso de poder pisar la Luna, el problema era el mismo. Había que regresar…

Por eso, mientras Neil Armstrong y Buzz Aldrin caminaban por la Luna, tras desprenderse del Apolo XI el módulo lunar, Collins, en ese momento «el hombre más solo de la historia», siguió dando vueltas alrededor de nuestro satélite hasta el momento de la extracción… Él nunca pisó la Luna, estaba allí como parte de un equipo seleccionado para un fin mayor, no se llevó la gloria, no pudo pronunciar frases grandilocuentes, «solo» formaba parte del plan de huida, salida y rescate.

A tres kilómetros de sus colegas, y a 250.000 kilómetros de la humanidad, Collins se hallaba completamente solo. «Sigan hablándome, muchachos», dijo Collins por radio a sus compañeros mientras observaba que su cápsula de desembarco se hacía cada vez más pequeña. Durante 47 minutos perdió todas las transmisiones de radio, más solo que nunca. «Ahora estoy solo, verdaderamente solo y absolutamente aislado de cualquier vida conocida. Lo estoy», dijo.

Ciencia, trigonometría, nervios de acero, un poco de suerte y toda la experiencia acumulada hasta la fecha tomaron cartas en el asunto. La Apolo XI, dicho esto, consiguió alunizar. En el caso de la Apolo XIII sería difícil explicarlo sin una pizarra, pero Hollywood mediante, os recomiendo de nuevo ver «su película», casi un documental, una obra maestra. Esos días, la población mundial estuvo en vilo. Afortunadamente, esos héroes cósmicos consiguieron regresar a casa sanos y salvos, después de dar la vuelta completa a la Luna, utilizando los mínimos recursos, pasando frío, con escasez de agua, utilizando la mínima energía posible, recurriendo a trigonometría básica y asiéndose a los más épicos de nuestros valores como

especie, por citar algunos, resiliencia, experiencia, inteligencia, sentido común, matemáticas, ciencia…

PISAR LA LUNA

Pero la misión más famosa, como digo, fue la Apolo 11, la quinta tripulada del programa Apolo y la primera que tenía como objetivo llevar a seres humanos a la silenciosa superficie de nuestro satélite. La nave Apolo 11 dejó la Tierra el 16 de julio de 1969 impulsada por un cohete Saturno V desde Cabo Kennedy, y el día 20 ya estaba alunizando en un lugar amplio y llano al sur del mar de la Tranquilidad (los mares lunares son planicies oscuras formadas por roca basáltica), después de tomar el control manual el comandante Neil Armstrong, casi sin combustible, para evitar caer en una zona peligrosa al lado de un cráter. Se salvaron por los pelos de caer en el cráter aquel. Los dos astronautas, Armstrong y Aldrin, salieron al exterior del módulo lunar, Eagle, mientras que Michael Collins se quedaría orbitando en el módulo de mando, el Columbia. Como el módulo lunar se llamaba Eagle, la frase después del alunizaje de Armstrong fue: «Houston, aquí Base Tranquilidad: el águila ha aterrizado». Durante más de dos horas Armstrong y Aldrin recogieron hasta 22 kilos de rocas y muestras lunares, probaron cómo es el movimiento con baja gravedad (la gravedad de la Luna es menor que en la Tierra: los cuerpos solo pesan un 16,6 % de lo que pesan aquí), desplegaron una bandera estadounidense (no sin dificultades y un torrente de controversia) y también instalaron diferentes aparatos científicos.

Uno de ellos, un reflector láser con el que se pueden enviar rayos desde la Tierra y reflejarlos de vuelta, lo que permite medir la distancia a la Luna con muchísima precisión. Y este reflector empezó a mostrar datos inquietantes. Cada año (sí cada año), la Luna se aleja de la Tierra unos cuatro centímetros. ¿La razón? El rozamiento de los océanos sobre la Tierra la están ralentizando. Como entre la Tierra y la Luna hay una ligazón gravitacional, el frenado de la Tierra hace que la Luna se acelere y, por tanto, aumente su órbita. Pero en ese preciso instante constatar que la Tierra y la Luna cada vez estarían más lejos no era relevante para los medios de comunicación.

Porque mediáticamente nunca estuvimos más cerca. Ese 20 de julio, unos 600 millones de personas en todo el planeta siguieron el alunizaje en

directo. Era uno más de los grandes hitos de la humanidad, pero en esta ocasión, por primera vez, uno de esos hitos se retransmitía a millones de hogares en todo el mundo. En directo… Se cuenta que ese día Philo Taylor Farnsworth, el granjero estadounidense que inventó la televisión y que jamás fue reconocido en vida por ello, devorado por el poder de la industria y años de infructuosos litigios por su patente, reconocida en 1934 por la Oficina de Patentes de Estados Unidos que obligó a RCA (Radio Corporation of America) a pagarle un millón de dólares en derechos de licencia, lloró de alegría, con cierta resignación, junto a su mujer mientras presenciaba en directo tal hito de la historia de la humanidad, retransmitido a millones de personas en todo el mundo. Suya fue la idea, con 21 años, de diseñar un tubo de vacío que pudiera diseccionar imágenes en líneas, transmitirlas y convertirlas de nuevo en imágenes. «Solo por esto ha merecido la pena, Pem. Solo por esto».

Ese 20 de Julio de 1969, aunque tampoco constituya un dato muy conocido ni debidamente reconocido: la estación de la NASA en Robledo de Chavela, cerca de Madrid, sirvió de apoyo a la misión durante todo el viaje. Esta estación pertenece a la Red de Espacio profundo, que tiene otras bases en Canberra (Australia) y Goldstone (California, Estados Unidos). Tres puntos cuidadosamente elegidos en la superficie del planeta de manera que las misiones espaciales, ya sean naves tripuladas o sondas que recorren el sistema solar, siempre puedan comunicarse con uno de ellos: entre las tres, y dada la rotación de la Tierra, siempre hay una visible desde el espacio. Madrid y España han tenido, de esta manera, un papel muy importante en la exploración espacial. Aunque no tengamos playa.

Después de 13 horas el módulo lunar Eagle despegó de la superficie lunar y se acopló de nuevo con el módulo Columbia, donde esperaba Collins. El Eagle fue abandonado en órbita lunar, como un trasto viejo, y acabó cayendo al satélite (hay científicos que aseguran que puede seguir en órbita y detectable por un radar). Luego la nave se dejó caer hacia la Tierra, tardó unas 60 horas. El 24 de julio los tres tripulantes amerizaron en el océano Pacífico, después de la ajetreada reentrada en la atmósfera (en la que por el rozamiento con el aire se alcanzan temperaturas de 3.000 grados), no muy lejos de las islas Hawái, sin un rasguño, tal y como había pedido unos años antes el presidente Kennedy (que fue asesinado poco después). En las seis misiones Apolo que llegaron a la Luna, seis astronautas pisaron su superficie. Eugene Cernan fue el último, en 1972, durante la misión Apolo 17, hace cincuenta años, los que tengo, que se dice

pronto. Las siguientes misiones Apolo, 18, 19 y 20, se cancelaron por falta de presupuesto. Cernan todavía sigue siendo el último ser humano en pisar la Luna. El Programa Apolo fue, dadas las circunstancias históricas, un caso muy particular donde se invirtió la friolera de 280.000 millones de dólares actuales. Una vez conseguido su principal objetivo ya no hubo demasiado motivo para seguir por ese camino.

Con la llegada a la Luna se dice que Estados Unidos ganó la carrera espacial, aunque la cosa no está tan clara. Es cierto que los americanos llegaron primero a la Luna, pero si se jugase por puntos, probablemente los rusos tendrían muchas oportunidades de ganar, por todos los hitos (Sputnik, Laika, Gagarin, Tereshkova, etcétera) que consiguieron con antelación.

LA LUNA MUY BIEN. Y AHORA, ¿QUÉ?

Después del éxito de las misiones Apolo, resuelto el enigma de la carrera espacial y tras la caída del muro de Berlín y el fin de la Guerra Fría, parece que el interés por alunizar decayó y, como he dicho, Eugene Cernan sigue siendo el último humano en la Luna. Pero eso no quiere decir que la aventura de la astronáutica acabara.

A pesar de que estas grandes misiones espaciales tripuladas son las que más cautivan nuestra imaginación, lo cierto es que los mayores hitos y descubrimientos científicos han sido llevados a cabo por sondas no tripuladas. Por ejemplo, la sonda estadounidense Mariner 2, que fue la primera interplanetaria y visitó Venus, dando información sobre su atmósfera, como lo hicieron algunas de las sondas soviéticas Venera. Si Venus parece una apacible perla que flota en el espacio, de ahí su nombre de diosa del erotismo, su realidad es infernal: altas temperaturas (como para fundir metales a temperatura ambiente), altas presiones, mucha densidad, nubes de ácido sulfúrico que lo cubren todo y mucho dióxido de carbono. Se piensa que su atmósfera puede ser resultado del efecto invernadero que también sufrimos en la Tierra.

Las sondas Pioneer 10 y 11 fueron las primeras de larga distancia, que sobrevolaron grandes y lejanos planetas como Júpiter y Saturno, con sus icónicos anillos, tomando imágenes de una belleza sobrecogedora. En estas sondas, por iniciativa del astrónomo Carl Sagan, se colocaron unas placas con información sobre la especie humana, una especie de «mensaje en la

botella» para el espacio interestelar que las sondas alcanzaron después de abandonar el sistema solar. En ellas se ven dos figuras humanas, masculina y femenina, un diagrama del sistema solar y alguna información sobre la radiación del hidrógeno o sobre los púlsares cercanos al Sol, por si lo encuentra algún alienígena. También de largo alcance fueron las sondas Voyager 1 y 2: desde una de ellas, cuando la primera estaba dejando el sistema solar, se tomó una foto legendaria titulada *A pale blue dot (Un punto pálido azul),* tomada el 14 de febrero de 1990. En ella se ve la Tierra diminuta cruzada por un rayo de sol, desde una distancia de 6.000 millones de kilómetros. Inspirado en la imagen sobrecogedora, Sagan, que había participado en el proyecto, escribió estas líneas, que conviene reproducir por su hermosa lucidez. Las palabras de Sagan nos obligan a vernos a nosotros mismos con la mayor humildad, la que no suele caracterizarnos como especie. Pocos textos, personalmente, me han inspirado tanto.

> Mira ese punto. Eso es aquí. Eso es nuestro hogar. Eso somos nosotros. En él, todos los que amas, todos los que conoces, todos de los que alguna vez escuchaste, cada ser humano que ha existido, vivió su vida. La suma de todas nuestras alegrías y sufrimientos, miles de religiones seguras de sí mismas, ideologías y doctrinas económicas, cada cazador y recolector, cada héroe y cobarde, cada creador y destructor de civilizaciones, cada rey y campesino, cada joven pareja enamorada, cada madre y padre, niño esperanzado, inventor y explorador, cada maestro de la moral, cada político corrupto, cada «superestrella», cada «líder supremo», cada santo y pecador en la historia de nuestra especie, vivió ahí —en una mota de polvo suspendida en un rayo de sol.

Las sondas Voyager 1 y Voyager 2 siguen explorando la infinitud del espacio más allá de nuestro sistema planetario. Algunas otras sondas de importancia científica han sido la Deep Space 1 o la Huygens/Cassini, que han explorado cometas o las lunas de Saturno. No menos relevante en la exploración espacial, aunque sin ir tan lejos, fue el telescopio espacial Hubble, puesto en órbita terrestre por primera vez en 1990, que, entre otras muchas cosas, obtuvo imágenes del espacio profundo, a esas distancias espaciotemporales en las que se ven las galaxias primigenias, y que parecen una extraña sopa de marisco. Hace poco se ha enviado un nuevo telescopio espacial, el James Webb, que orbita el Sol a 1,6 millones de kilómetros de la Tierra, en lo que se conoce como segundo punto de

Lagrange (que suele aparecer en los manuales de física). Un telescopio espacial es aquel que orbita la Tierra como un satélite: la ventaja radica en que puede mirar al espacio sin tener delante la atmósfera que, afortunadamente, absorbe buena parte de la radiación, y así conseguir más y mejores imágenes de los confines del cosmos. Estudiará la formación planetaria y estelar, los exoplanetas (en otros sistemas solares) o la explosión de las novas.

No podemos olvidar el mayor proyecto tecnológico jamás desarrollado por el ser humano, y el más caro construido nunca; se dice que costó 150.000 millones de dólares: la Estación Espacial Internacional (ISS, por sus siglas en inglés). Se trata de una estación espacial, lanzada en 1998, en una órbita media de 400 kilómetros de distancia a la Tierra, y que fue colocada ahí por un consorcio de las más importantes agencias espaciales del mundo, las de Estados Unidos, Europa, Japón, Canadá y Rusia. En la ISS los astronautas permanecen largas temporadas, como Scott Kelly, que ha pasado un total de un año en el espacio, según cuenta en su libro *Resistencia*, donde habla de la dureza de la vida del espacio, de la soledad, de las incomodidades de dormir sin gravedad, del riesgo de chocar contra la basura espacial, de lo mala que es la comida y de lo desagradable que resulta destilar el agua de la propia orina, y beberla una y otra vez. Pero sobre todo de estar lejos de tu hogar.

Diferentes naves de distintos países visitan la estación para relevar a los astronautas, llevar y traer material y reservas. Allí arriba se hacen experimentos en microgravedad de física, astronomía, química, meteorología, etcétera. Dando una vuelta a la Tierra, que no es plana, cada 93 minutos. Os recomiendo la serie documental *One Strange Rock* de National Geographic, conducida por el actor Will Smith y que cuenta con el increíble testimonio de muchos de los astronautas, hombres y mujeres de diferentes nacionalidades (entre ellos Scott) que han realizado un extraordinario sacrificio personal por todos nosotros, por el avance científico y tecnológico en múltiples campos. Compensado, todo hay que decirlo, por el también extraordinario privilegio de contemplar 16 amaneceres diarios en su vuelo orbital alrededor de nuestro planeta, esa extraña roca, a 7,66 km/s.

Si uno sabe dónde mirar, nosotros también podemos ver la ISS: un punto blanco, de brillo similar al de Venus, que se mueve lentamente contra el fondo de estrellas fijas en el firmamento. Aunque no estén en reposo, simplemente se encuentran a millones de años luz de distancia de

nosotros. Y por eso parecen inmóviles.

EL PLANETA ROJO

Marte, el planeta rojo, el dios de la guerra, ese punto colorado en el cielo que tanto ha estimulado la imaginación de los seres humanos, es el objetivo que ahora más seduce a los investigadores espaciales y, si las cosas siguen su curso lógico, será el segundo cuerpo celeste después de la Luna, y el primer planeta, en ser pisado por un humano. Quizá convendría saber si allí hay marcianos, tal y como la literatura, el cine o los cómics nos han anunciado durante décadas. No creo sea el caso.

Ya en 1877 el astrónomo italiano Giovanni Schiaparelli aseguró haber visto canales en la superficie de Marte, más tarde el estadounidense Percival Lowell propuso que aquellos canales podrían ser vestigios de alguna civilización extraterrestre, posiblemente canales de regadío de una hipotética agricultura marciana. ¿A qué sabrían los calabacines marcianos? Quizá estas especulaciones fueron las causantes de que se encendiese la llama de una supuesta civilización marciana, aunque luego se comprobó que esos canales, tan definidos como para haber sido construidos por alguien inteligente, que veían estos astrónomos no lo eran tanto, y que había más deseo de verlos que una realidad evidente. Aun así, poco después de la apuesta de Lowell por los canales artificiales, el escritor Edgar Rice Burroughs, creador del archiconocido Tarzán, comenzó una serie de novelas de ciencia ficción sobre el tema marciano. En la recopilación de relatos *Crónicas marcianas* (que dio nombre a aquel famoso *late night* de la «tele» española presentado por Xavier Sardá), Ray Bradbury contaba historias sobre una imaginada colonización de Marte por parte de los humanos. Uno de los más celebrados, sobre un posible ataque marciano, fue la descacharrante película *Mars Attacks!,* del genial Tim Burton en 1996. Seis años antes, incluso Arnold Schwarzenegger en, también la genial, *Total Recall (Desafío total)* de Paul Verhoeven en 1990 se permitió visitar el planeta rojo.

Pero todo esto es imaginación. La realidad científico-tecnológica pura y dura comienza con las primeras sondas que consiguieron visitar la superficie del planeta rojo, las estadounidenses Viking, lanzadas en 1975 y 1976. Antes se habían mandado las sondas soviéticas Mars, sin éxito, y alguna Mariner estadounidense que llegó a sobrevolar el planeta, pero sin

bajar a la superficie. Cada sonda Viking tenía dos partes, una que permanecía en órbita sacando fotografías y haciendo de intermediario en las comunicaciones, y otra que amartizaba, llamada Lander, que estudiaría la atmósfera, la meteorología y la biología marciana (en caso de haberla). Se supo que la atmósfera de Marte estaba hecha de dióxido de carbono con un poco de nitrógeno y oxígeno (podría albergar vida de algún tipo), o que las temperaturas oscilaban entre los –89 ºC y los 30 ºC durante una jornada. Las fotos que trajeron la Viking eran las de un desolado desierto rojizo, fruto de los sulfatos y óxidos de hierro (la sangre humana también es roja por el color del hierro de la hemoglobina al juntarse con el oxígeno de los pulmones). Los resultados de los experimentos biológicos no pudieron asegurar que hubiera vida en Marte, aunque todavía no se ha descartado la posibilidad. En cualquier caso, cuando los científicos hablan de vida en Marte no se refieren a los marcianos con pistolas láser de la película de Tim Burton, sino a microorganismos como las bacterias (que pueden vivir en situaciones muy extremas de temperatura, presión o acidez, llamadas extremófilas), invisibles al ojo desnudo.

Microorganismos, extremófilos, que también viven en nuestro planeta en parajes volcánicos o fumarolas oceánicas y que se suponen originarios de toda la vida en la Tierra. Microorganismos que son capaces de realizar la quimiosíntesis (o quimioautotrofia), consistente en la síntesis de materia orgánica sin necesidad de la luz del sol, a partir de materia inorgánica, generalmente dióxido de carbono, utilizando para ello la energía que se libera en reacciones de compuestos inorgánicos reducidos. Materia orgánica que otros seres vivos pueden incorporar a la cadena trófica y que se supone es el origen de la vida en la Tierra.

Y por eso, porque puede aportar respuestas y nuevos interrogantes sobre el origen de la vida tal y como la conocemos, en 1997 la misión Mars Pathfinder, después de algunos otros programas fallidos, consiguió posarse de nuevo sobre la superficie marciana. El módulo de aterrizaje, que utilizaba grandes y vistosos globos para amortiguar la caída, tenía el nombre de Carl Sagan, en homenaje al gran astrónomo que había fallecido un año antes, y por primera vez llevaba un *rover* (un vehículo motorizado de exploración) para moverse por la superficie, llamado Sojourner, en homenaje a la activista negra por lo derechos civiles Sojourner Truth. El *rover* pudo analizar el suelo de Marte y realizar más experimentos con relación a la atmósfera, la geología o la climatología marcianas. El Sojourner, que a mí me recuerda al adorable robot Wall-E de la película de

Pixar (sin echarle mucha imaginación), pudo estudiar unas rocas que se hallaban en el lugar del aterrizaje y que los científicos encargados del proyecto, con su habitual cachondeo, bautizaron como Scooby Doo, Yogui y Casper como algunos famosos personajes de dibujos animados de los setenta y los ochenta. Los científicos suelen ser muy frikies, es lo que tiene.

En 2002 se hace un descubrimiento de vital importancia: la sonda Mars Odyssey, cuyo objetivo era el estudio de la atmósfera marciana y la realización de un mapa de la superficie del planeta, se coloca en una órbita marciana y, entre otras cosas, descubre hielo, mucho hielo, enterrado justo bajo la superficie, suficiente como para llenar dos veces de agua el lago Michigan, que es uno de los Grandes Lagos estadounidenses (y les dicen «grandes» por algo, si alguna vez tienes la suerte de sobrevolarlos desde un avión, podrás hacerte una idea). Es mucho más hielo del que nunca esperaron encontrar. Esto permitiría sintetizar agua en futuros viajes tripulados al planeta vecino y en una hipotética colonización, pero, lo que es igual de importante, abrieron la puerta para la existencia de vida orgánica en Marte.

Casi 10 años después, otro hito, entre infinidad de misiones científicas, fue la llegada del Mars Science Laboratory, también conocido como *Curiosity*, en 2011, que mandó de vuelta unas fotos de altísima resolución, en color real, del planeta, de sus desiertos, sus colinas y sus montañas. Viendo las fotos del *Curiosity* da la impresión de que no sería tan raro colonizar Marte, se parece a algunos lugares del nuestro hogar planetario. En pleno desierto de Utah se encuentra la Mars Research Desert Station, no se me olvidará jamás todo lo que pude vivir allí inmerso en la promoción de la película *The Martian*, dirigida por Ridley Scott y protagonizada por Matt Damon en 2015. Perdonadme recomendaros el libro de Andy Weir, en el que se basa la película, que nadie quiso publicar (inicialmente lo autopublicó en su página web, luego en Amazon por 99 centavos), pero que tras el escandaloso éxito, fue reeditado y se convirtió en todo un superventas a nivel mundial.

Y sin necesidad de viajar a Estados Unidos, en las minas de Río Tinto, en Huelva, un paraje también rojizo por los sulfuros de metales pesados, la NASA y la ESA hacen pruebas de viabilidad y habitabilidad para sus posibles misiones marcianas. El hecho de que en Río Tinto, a pesar de las condiciones de gran acidez, vivan bacterias extremófilas, hace pensar que lo mismo podría pasar en Marte. La sonda ExoMars, de la Agencia Espacial Europea y la agencia rusa Roscosmos, probada en Río Tinto, prevé estudiar

el subsuelo de Marte en busca de vida bacteriana, presente o pasada. En su larga temporada en Marte, *Curiosity* ha sacado fotos de eclipses, de torbellinos o de nubes luminosas y taladrado el suelo en numerosas ocasiones.

En el horizonte queda el sueño de llevar a los seres humanos a Marte. Un sueño que puede acabar en pesadilla, no solo por los inconvenientes tecnológicos, sino por la dificultad humana y social: los astronautas que vuelen al planeta rojo tendrán que pasar largo tiempo, más de un año, hasta llegar a su destino, conviviendo en un espacio no demasiado cómodo. Las comunicaciones con la Tierra no serán fáciles según se alejen: las videoconferencias galácticas de las películas de ciencia ficción no serían posibles, toda comunicación tendría un retardo de varios minutos. La falta de contacto con los seres queridos, el aislamiento en un espacio frío, vacío y oscuro, los problemas sociales con los demás tripulantes (como en un *reality show* de Gran Hermano) o el continuo miedo a que algo falle, a no poder volver, son solo algunas cosas que pueden llevar la misión al traste. Otro de los problemas no es solo llegar, sino cómo mantener a los astronautas vivos en Marte durante un tiempo razonable, con las bajas temperaturas, la radiación y la falta de recursos. Volver a casa es el gran dilema.

Porque, en todo este relato de la exploración espacial, nos estamos olvidando un punto importante: los costes humanos. Más allá de la perrita Laika, muchos astronautas humanos han perdido la vida en su salto al universo. Un caso sonado es el de los tres astronautas de la misión Apolo 1, en 1967: no murieron en el espacio sino asfixiados en la cápsula, cuando se produjo un incendio durante un ensayo. Como la atmósfera dentro de la nave era de oxígeno puro prendió inmediatamente y mató a los pilotos en solo 17 segundos, cosa que causó un gran duelo nacional en Estados Unidos y una dura investigación dentro de la NASA. Eso llevó a un rediseño de las naves Apolo ya desde su primera edición, pero no frenó el programa que sería el más exitoso de la historia. Otro caso tristemente famoso fue el del transbordador *Challenger*, en unas imágenes que la mayoría de los que estábamos vivos en aquel año, 1986, no podemos olvidar: solo 73 segundos después del despegue, cuando las autoridades y las familias de los astronautas todavía veían al transbordador elevarse en el cielo azul de Florida, la nave explotó en mil pedazos llevándose la vida de los siete tripulantes. Fue el peor accidente de la historia de la exploración espacial, y se formó una comisión de investigación en la que estaban el célebre físico

Richard Feynman o el pionero astronauta Neil Armstrong.

OK, ¿Y ENTONCES VAMOS O NO?

¿Cuándo llegarán los humanos a Marte? El visionario y controvertido Elon Musk dice que será en algún momento antes 2030. Veremos. Musk, CEO de la empresa SpaceX y también de Twitter, ha hablado de un plan tan loco como colonizar el planeta vecino, construyendo mil cohetes Starship y lanzando tres de ellos al día para hacer llegar allí un millón de personas que sean la semilla de una nueva civilización. Un programa de la empresa holandesa Mars One pretende enviar a un puñado de astronautas en una fecha tan cercana como 2025 y grabarlo todo al modo de un *reality* televisivo, viva el espectáculo. Numerosas voces han salido a criticar que el proyecto es, en efecto, una peligrosa marcianada. Según el MIT de Massachusetts, que analizó el proyecto, los astronautas se asfixiarían a los 68 días de su llegada. La productora de *Gran Hermano*, Endemol, que en principio estaba en el proyecto, lo ha dejado y aún no se ha encontrado ninguna sustituta. De los 6.000 millones de dólares requeridos, solo se han recaudado 800.000 dólares a base de donaciones de fans. ¿La ciencia ficción se torna al final en todo un *reality show?* Quién sabe…

¿VOLVER A LA LUNA?

En mayo de 2019 la NASA anunció el proyecto Artemis, que quería poner por primera vez a una mujer en la superficie lunar, la fecha estimada sería 2024. Los 12 astronautas que pisaron el satélite con anterioridad eran hombres. Uno de los grandes promotores de que los estadounidenses vuelvan a la Luna ha sido, curiosamente, Donald Trump, que incluso sugirió que se estableciese allí una base para hacer ciencia y recoger materias primas. Sin embargo, el gran problema de la NASA es de financiación, Artemis costaría 135.000 millones de dólares y no parece que vaya a disponer de ese presupuesto. A principios de 2021 se informó de que la misión se retrasaría. En el ajo están involucradas las empresas de vuelos espaciales comerciales de grandes magnates, con inmensas fortunas y no poco ego y fantasía, como Elon Musk (SpaceX), Jeff Bezos (Blue Origin) o Richard Branson (Virgin Galactic), además de otras agencias

espaciales terráqueas. De hecho, uno de los mayores cambios del sector espacial en los últimos años es la aparición de estas agencias espaciales privadas y comerciales en un sector donde antes solo había agencias públicas, como la NASA estadounidense, la ESA europea, o las respectivas agencias rusa, china y japonesa. Y la colaboración público-privada. El siguiente paso sería mandar humanos a Marte en 2035, tal vez utilizando la Luna como paso intermedio.

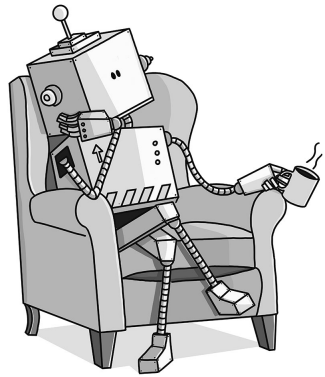
Lo interesante de la exploración espacial y del programa Apolo es que fue una gesta enorme que se hizo con una tecnología no tan avanzada comparada con la actual. En aquellos tiempos sí que era tecnología avanzada, pero en 50 años, y dado el crecimiento exponencial de la tecnología, ha quedado muy desfasada. Por ejemplo, el ordenador de navegación se encargó al prestigioso MIT de Massachusetts, y tenía que gastar como una bombilla y ocupar lo que dos cajas de zapatos. Ese ordenador tenía unos dos mil circuitos integrados, cuatro kilobytes de memoria RAM y 72 kilobytes para almacenar información, una capacidad ridícula comparada con cualquier *smartphone* actual. Estas máquinas no tenían discos duros ni pantalla ni ratón, el interfaz era más parecido al de un robot de cocina Thermomix, con algunos botones y una pantallita. Eso sí, sirvieron, increíblemente bien, para hacer su trabajo.

¿Y TODO ESTO PARA QUÉ?

¿Para qué sirve la exploración espacial? Es una pregunta común y bastante legítima: la humanidad se gasta miles de millones de euros en mandar naves al espacio cuando ese dinero bien podría resolver muchos problemas más urgentes en la Tierra. La respuesta directa es que está en la naturaleza del ser humano explorar el universo a cualquier precio, que la curiosidad es inherente a nuestro ser y es nuestro deber colmarla: al fin y al cabo, los seres humanos somos el universo mirándose a sí mismo. Ni siquiera sabemos si hay vida inteligente en otros lugares.

La respuesta futurista es que, en la medida en que logremos escapar de la Tierra y encontrar otro hogar, podrá la humanidad sobrevivir a sí misma (por el cambio climático, por ejemplo) o, en última instancia, al aumento del radio del Sol como estrella gigante roja, que engulliría nuestro planeta. Además, muchos de los descubrimientos científicos que se hacen en las misiones espaciales son ya de mucha utilidad en la Tierra.

La respuesta conformista (y aburrida) es que la exploración espacial crea puestos de trabajo y mueve millones de dólares. La respuesta científica, y más divertida, es que durante los procesos de la exploración espacial se alcanzan grandes logros científicos y soluciones «marcianas o lunáticas» a problemas cotidianos de nuestro día a día, los llamados *spin offs* (como cuando se hace una serie televisiva con un personaje de otra serie previa, tipo *Better call Saul*, con el personaje del picapleitos Saul Goodman, a partir de *Breaking Bad),* tecnologías que se desarrollan accesoriamente pero que acaban siendo de utilidad. La NASA publica con regularidad sus *spin offs* y presume de ellos, porque son una forma de justificar sus gastos a costa del erario público. Particularmente se los compro. Durante la exploración espacial se han hecho avances para el desarrollo de cosas tan cotidianas como las zapatillas deportivas, el horno microondas, las cámaras fotográficas digitales, el GPS, los sensores biométricos, el ordenador personal, el velcro, el código de barras o los pañales. Gracias, astronautas. Muchas gracias.



LAS LEYES DE MURPHY

28 de julio de 2046. 16.14 p.m. (GMT 0)

No formaba parte de nuestra programación inicial, pero en la cuarta actualización, nos hicieron llegar las leyes de Murphy. La primera de ellas afirma que si algo puede fallar, fallará. Que no hay tarea tan simple que no pueda salir mal. Peor aún, que cuando varias cosas pueden fallar, siempre lo hará la que cause un mayor perjuicio. Para un androide como yo, el simple hecho de pensar, *a priori*, que algo puede salir mal es estadísticamente cuestionable pero posible. Desde el principio me enamoró su esencia. Las leyes de Murphy son de esas leyes que nos hacen humanos. Siempre pensé que su primera ley es inexorable. Y así fue, no me confundía.

Tras el colapso, me remito a mis archivos como experto en gestión de centrales energéticas, de todo tipo, nucleares inclusive. Forma parte de mi formación primigenia.

En lo que respecta a centrales nucleares, la pérdida de potencia exterior (lo que habitualmente se llama *blackout* en inglés o «apagón» en español) es uno de los sucesos iniciadores de accidentes postulados en su diseño. Al producirse un apagón, actúa de inmediato el sistema de protección del reactor, insertando las barras de control por gravedad y deteniendo la reacción en cadena. Al mismo tiempo, arrancan automáticamente los generadores diésel de emergencia, que antes de 13 segundos comienzan a alimentar a todas las cargas necesarias para mantener la parada segura del reactor.

Y así fue en 2046. Una vez parados los reactores del 95 % de todas las centrales, era necesario refrigerarlos porque los productos de fisión son radiactivos y emiten calor. Es lo que se llama calor residual. Los generadores diésel de emergencia solo tienen autonomía para una semana, es necesario reponer gasoil para que sigan funcionando pasado ese tiempo. En ese momento, crítico, dependíamos de la logística. O llega el diésel para mantener la refrigeración o, aunque soy optimista compulsivo, esto empieza a antojarse inasumible. Logística, una vez más, ahora se trata de logística…

6

HONGOS ATÓMICOS Y LAMPARILLAS DE MESA: EL USO DE LA ENERGÍA

«Ahora me he convertido en la muerte, el destructor de mundos». Fueron las palabras del texto sagrado hindú, Baghavad Gita, que le vinieron a la cabeza al físico Robert Oppenheimer cuando presenció la explosión de la primera bomba atómica, cuyo desarrollo él había liderado. Ocurrió el 16 de julio de 1945, en la llamada prueba Trinity, que se realizó en el desierto de Nuevo México. Un tremendo hongo nuclear de 12 kilómetros de altura, nunca visto antes, sobrecogió a los que miraban cómo caía la bomba sobre aquella vasta planicie. No es de extrañar que a los científicos que observaban la explosión a cubierto, en búnkeres construidos a muchos kilómetros de distancia, llevando máscaras de soldador y crema solar, le vinieran a la cabeza escenarios apocalípticos. La explosión fue de 19 kilotones, es decir, el equivalente a 19.000 kilos de explosivo TNT. Desde tiempos inmemoriales, la ambición humana llevada al extremo, guerra tras guerra, incluidas la guerra espacial, la Guerra Fría y todas las formas de guerra posibles han sido las principales responsables del «avance» tecnológico y en muchos otros ámbitos de la humanidad. Ciencia y guerra, guerra y ciencia. Incluso la anestesia epidural, que bloquea las terminaciones nerviosas en su salida de la médula espinal, *grosso modo* por

debajo del ombligo, uno de los avances más importantes de la historia de la medicina, sin la cual no podrían concebirse ahora muchas operaciones, se inventó durante el transcurso de la Primera Guerra Mundial. Lo sorprendente, y quizá no lo sabías, es que fue un cirujano militar español, Fidel Pagés, el responsable. Desde ese momento se hizo común en el tratamiento del dolor durante el parto y en intervenciones quirúrgicas de la pierna, pelvis, cadera… Hoy en día es común en cualquier parto asistido, por supuesto cualquiera que incluya una cesárea. En mi caso, añado, he podido «beneficiarme» de ella en una operación de menisco, dos artrodesis… Aunque esa es otra guerra, mi guerra.

Pero sigamos con ciencia, tecnología y belicismo… Esa explosión de 19 kilotones dejó un cráter de 3 metros de profundidad y 330 metros de ancho. La arena del cráter se fundió por el calor formando una especie de lago de color verde jade, un compuesto que se bautizó como trinitita. Al mes siguiente se lanzó la bomba atómica sobre las ciudades japonesas de Hiroshima y Nagasaki. Se mató instantáneamente a decenas de miles de personas (se estima que cerca de un cuarto de millón) en sendas detonaciones y así terminó la Segunda Guerra Mundial.

No puedo dejar de acordarme del nombre de ese bombardero Boeing B-29 Superfortress que el 6 de agosto de 1945, lanzó la primera bomba atómica, la «Little Boy», sobre la ciudad japonesa de Hiroshima y la arrasó casi por completo. Lo llamaban Enola Gay y su nombre quedó tristemente inmortalizado en los ochenta en una fantástica canción antibelicista del grupo británico OMD. Tres días después participó en el bombardeo sobre Nagasaki, aunque esta vez fue otro B-29, el «Bockscar», el que lanzó la fatídica segunda bomba nuclear en suelo japonés.

La explosión de las primeras bombas atómicas supone un hito, en este caso funesto, en la utilización del ser humano de las fuentes de energía. Habíamos conseguido desatar una forma de energía fundamental, la energía que mantiene unidos los núcleos de los átomos, la misma que enciende la luz de las estrellas, la que nos proporciona la vida. Una fuente de energía poderosísima, como se vio en aquellos bombardeos, que, no obstante, puede sernos muy útil, pero también poner punto final a nuestra civilización. Sin embargo, las relaciones del ser humano con la energía vienen de mucho antes.

LO QUE SABEMOS DE LA ENERGÍA

La energía es algo sobre lo que se ha teorizado mucho, algo que se puede obtener, transformar, describir matemáticamente, pero que sigue manteniendo cierto misterio en torno a su esencia. Lo que está claro es que nuestra vida depende de la energía y que ha estado fuertemente imbricada en la historia del ser humano. La energía está por todas partes, transformándose, fluyendo, invisible, almacenada en la materia o haciendo que las cosas se muevan; de hecho, esa es una de sus definiciones: la capacidad que tiene la materia de producir trabajo, es decir, movimiento. Alguna gente dice que siente energías flotando por ahí, o que cree que, más que haber Dios, existe una «energía superior», pero esos son usos de la palabra energía que están fuera del ámbito científico y tecnológico, y que se basan, precisamente, en ese carácter tan esquivo, fundamental y misterioso que tiene la energía. Es un término muy propicio para que algunos se refieran a entes difusos o instancias superiores.

En la realidad, de forma más prosaica, necesitamos energía para mantener vivo nuestro organismo, pero es que cada día somos más dependientes de la energía que alimenta todos los sistemas tecnológicos que hemos creado y que vertebran nuestra existencia cotidiana en mayor medida: cada poco rato necesitamos un cargador para alimentar nuestros *smartphones,* para conectarnos a internet, ver una serie, encender una lámpara para leer un poco antes de dormir… A veces se habla de la extrema dependencia que tenemos de la energía y se especula con los desastres que podría traer un gran apagón o la caída masiva de internet (ya hemos visto algunos casos puntuales de fallos en la red, como cuando en 2020 se cayeron durante varias horas sistemas como Facebook, Instagram y WhatsApp). Una caída grave de internet o un gran apagón no solo traería pérdidas millonarias, sino problemas nunca vistos de seguridad, abastecimiento o comunicaciones. Todo nuestro mundo se vendría abajo. Toda nuestra logística, nuestro sistema financiero y nuestro mundo de confort se vendrían abajo sin energía. Esto puede ocurrir en un futuro no muy lejano si no apostamos por un consumo más responsable y no desarrollamos nuevos medios para obtenerla.

Los defensores de la teoría del Big Bang sugieren que, hace entre unos 10.000 o 20.000 millones de años, una onda expansiva masiva permitió que toda la energía y materia conocidas del universo (incluso el espacio y el tiempo) surgieran a partir de algún tipo de energía desconocido. Lo que somos, el libro que estás leyendo, la electricidad, todos los bienes y alimentos consumidos a lo largo de nuestra historia o que podrán ser

consumidos o producidos en el futuro, todo, absolutamente todo, procede única y exclusivamente de ese efímero instante. «Somos polvo de estrellas», llegó a decir Carl Sagan en la maravillosa serie documental *Cosmos: Un viaje personal* de 1980. Esta serie, que por cierto os recomiendo, la ha vuelto a producir hace unos años Seth MarFarlane (sí, el creador de *Padre de Familia*, nada que ver), presentada por Neil Degrasse Tyson.

Porque uno de los principios más conocidos que existen sobre la energía es aquel que dice que la energía ni se crea ni se destruye, solo se transforma. La energía que contiene el universo es siempre la misma, lo que pasa es que va cambiando de forma.

El principio de la conservación de la energía es también el primer principio de la termodinámica, la rama de la física que estudia las interacciones entre las diferentes formas de energía y el calor, que es también una forma de energía en movimiento. Ejemplos de la conservación de la energía: cuando se enchufa un calefactor, como los que suelen ponerse cuando el baño está frío y queremos ducharnos cómodamente, la electricidad fluye por una resistencia, que se pone incandescente, y así la energía eléctrica se convierte en calor y luz. Algo similar ocurre en una estufa de butano, solo que en este caso no es energía eléctrica, sino la energía química del gas contenido en la bombona naranja. En una montaña rusa, la energía potencial gravitatoria, que es la que tiene un cuerpo por estar a mayor altura del suelo, se transforma en energía cinética cuando caemos por la pendiente: así el tren de la montaña rusa va subiendo y bajando las colinas que forman las vías de forma trepidante, y ahí vamos nosotros, gritando. Otro tipo de energía, con toda seguridad, puede que incluso divertida. Pero parte de la energía no se traduce solo en excitación, también se transforma en calor, se pierde debido al rozamiento con la vía, y si no aplicamos más energía, el tren no se desplazaría eternamente, sino que se detendría, pero eso lo veremos más adelante.

¿Te has fijado en que el calor siempre fluye del objeto más caliente al más frío? Cuando ponemos hielo en una bebida a temperatura ambiente, la bebida cede calor al hielo, que se derrite enfriando el líquido, por eso el hielo sirve para tomar las bebidas más frías, haciendo más agradable su consumo. Al final se llega al equilibrio térmico, en el que ambos están a la misma temperatura. Esto tiene que ver con la naturaleza de la temperatura, que no es más que la energía cinética, relacionada con el movimiento de todas y cada una de las moléculas que componen cualquier sustancia. En el caso de cualquier bebida (por ser un líquido), las moléculas, se mueven

más energéticamente en todas direcciones, «chocan» con las del hielo y les ceden su energía cinética, haciendo que se muevan más, calentándolo (así se funde de sólido a líquido). Que la energía térmica de un cuerpo frío pase espontáneamente a uno caliente es imposible, es decir, es inviable que al echar hielo, este cada vez esté más frío y la bebida más caliente, como nos parece lógico y natural, a base de verlo. Lo contrario, por otro lado, sería una faena cuando tenemos sed. ¡Refrescos que se calientan al echar hielo! ¡No!

Esto significa que en el universo hay procesos irreversibles, son la mayoría, que solo se pueden dar en una dirección, sin marcha atrás. El hielo nunca se volverá a formar espontáneamente en la bebida, tampoco se formará de nuevo un terrón de azúcar disuelto, por mucho que sigamos dándole a la cucharilla en sentido contrario. ¿Qué es lo que hace que ciertos procesos irreversibles solo sucedan de una manera y no de la otra?

Todo esto tiene que ver con el segundo principio de termodinámica, una de las leyes más importantes del universo, y que explica muchas cosas. En este principio entra en juego otro término de aspecto misterioso: la entropía. Si bien la energía del universo permanece constante, siempre hay la misma, en el caso de la entropía es diferente: la entropía del universo siempre aumenta, nunca disminuye. ¿Qué es la entropía? Es la medida del desorden de un sistema. En nuestro ejemplo del hielo y el refresco, las moléculas del hielo frío estarían más ordenadas que las de la bebida caliente, que se mueven mucho en todas direcciones. Cuando se juntan el desorden ha de crecer, de modo que el hielo se derrite, perdiendo su estructura ordenada. La entropía total del sistema aumenta. Cuando quemamos un trozo de carbón arrancado de las profundidades de la Tierra, este pierde su orden para transformarse en calor, una forma más desordenada de energía.

Esta entropía siempre creciente es lo que hace que existan procesos irreversibles, como el hielo que se derrite en la bebida o el vaso que se cae al suelo y se rompe en mil pedazos: es imposible que, espontáneamente, se vuelva a formar, como si nada. En estos procesos la entropía ha aumentado y no puede disminuir: no hay vuelta atrás. Los procesos reversibles, en cambio, son aquellos en los que la entropía no crece, pero tampoco disminuye (hecho, como digo, imposible): simplemente permanece constante. En realidad, los procesos reversibles son muy raros, por ejemplo, el movimiento sin rozamiento, donde no se pierde calor. Por lo general son casos idealizados en la mente y los cálculos de los físicos, vivimos en un

mundo de procesos irreversibles.

La entropía es también la razón por la cual una máquina no puede convertir toda la energía en movimiento: siempre hay rozamiento que produce calor, un proceso en el que la entropía aumenta. Por desgracia, el rendimiento nunca puede ser del cien por cien, siempre se pierde algo: la entropía nos dice que no toda la energía es utilizable. Durante muchos años los inventores trataron de construir un móvil perpetuo, un artefacto que se moviera eternamente sin que hubiera que proporcionarle nueva energía, que reciclara una y otra vez su propia energía, pero es imposible: la energía siempre se degrada, se pierde en forma de calor, aumentando la dichosa entropía. Un péndulo siempre acaba por detenerse. En la tierra, por tenue que sea, no podemos librarnos nunca del rozamiento. Hasta la fecha, no hemos conseguido un movimiento perpetuo, el rozamiento lo hace imposible, por pequeño que sea. No es posible conseguir, aún no lo hemos logrado, un movimiento que pueda repetirse una y otra vez sin cesar, *ad aternum*. El más mínimo rozamiento, por pequeño que sea, hace inevitable que una pequeña fracción de energía se pierda por el camino… La existencia de un móvil perpetuo iría en contra de una de las leyes más importantes de la naturaleza. Hay veces que me da una pereza enorme hacerme la cama: total, el desorden siempre aumentará y para recuperarlo hay que aplicar más energía (en este caso, haciendo la cama), porque, en última instancia, no servirá para nada. En el fondo la entropía es como la habitación de cualquier adolescente, siempre tiende al máximo desorden posible. Este ejemplo no es muy exacto científicamente, perdonad, pero resulta muy visual. Y casi rigurosamente cierto en la mayoría de los casos.

La idea de la entropía es devastadora: nos condena a vivir en un universo donde el desorden siempre aumenta y que se aproxima de forma inexorable a la llamada muerte térmica, cuando toda la energía ya se haya degenerado y la entropía sea máxima. Toda la energía se encontrará uniformemente distribuida en el espacio y no habrá manera de que fluya de un sitio a otro, generando vida o movimiento. Todo estará quieto y muerto. Frío. Eternamente frío… Sí, da miedo. Pero ocurrirá. Pasarán eones, pero ocurrirá. Y todos los momentos se perderán en el tiempo, como lágrimas en la lluvia (esta va por *Blade Runner)*.

El concepto de la entropía tiene también relación con la vida, con nosotros y los otros seres vivos con los que compartimos el planeta. Si la entropía, el desorden, tiende siempre, siempre, a aumentar, ¿cómo es posible que existan seres vivos, que son organismos altamente ordenados?

Para eso necesitamos invertir energía, que obtenemos de los alimentos y la respiración, se trata de una constante lucha contra la entropía. Igual que invertimos energía en hacer una cama que siempre acaba deshecha. Al final, cuando morimos, porque todos vamos a morir, nuestro cuerpo descansa en paz y se descompone: el orden que hemos construido se funde de nuevo con el desorden general. Recordad que somos energía, somos polvo de estrellas.

Hay un tercer principio de la termodinámica, no tan conocido, pero también de suma importancia, y se refiere a la temperatura. Si antes aprendimos que la temperatura de un cuerpo está relacionada con la energía cinética, es decir, el movimiento de sus moléculas… ¿Qué pasaría si estuvieran absolutamente quietas? Entonces el cuerpo estaría a la temperatura de cero absoluto. Cuando enfriamos un cuerpo sus moléculas van perdiendo energía cinética, yendo cada vez más lentas. Si lográsemos pararlas del todo, estaríamos en el cero absoluto. El cero absoluto, como es obvio, no coincide con el cero de la escala centígrada, que es la temperatura a la que el agua se convierte en hielo. Las moléculas de hielo no están tan frías como para no moverse. El cero absoluto, los cero kelvin, sería el punto cero de la entropía, el orden total, desde el que se miden el resto de las entropías. En realidad, el cero absoluto está a una temperatura de –273,15 grados centígrados. Muy frío. Tan frío que el tercer principio de la termodinámica afirma que el cero absoluto es inalcanzable (aunque podemos llegar muy cerca).

En 2014, el laboratorio Gran Sasso del Instituto Italiano de Física Nuclear anunció todo un récord mundial. Los científicos lograron llevar un metro cúbico de cobre, que pesa 400 kilos, a una temperatura cercana al cero absoluto. El material alcanzó una temperatura de 6 milikelvins (–273,144). Durante los 15 días que duró el experimento afirmaron orgullosos que estaban frente al metro cúbico más frío del universo.

EL SOL, GRAN PROVEEDOR DE ENERGÍA

La mayor parte de la energía que utilizamos proviene, de una manera u otra, del Sol. El Sol, aunque nos parezca algo muy importante que cruza el cielo cada día y que las civilizaciones antiguas identificaron con un poderoso dios, en realidad es una estrella mediocre, no demasiado grande, ni muy fría ni muy caliente, perdida en el borde de una galaxia cualquiera,

la Vía Láctea. Aun así, para nosotros es fundamental como fuente de energía: en su interior, a grandes presiones y temperaturas (de hasta 15 millones de grados), se genera energía en furiosas reacciones termonucleares que transforman átomos de hidrógeno en átomos de helio. De ahí se desprende energía en forma de fotones: tardan unos 10.000 años en salir del Sol, porque es un plasma muy denso y siguen un camino muy errático, pero una vez emitidos llegan a la Tierra en unos 8 minutos (claro está, a la velocidad de la luz).

Porque si el Sol se «apagase»,[2] tardaríamos 8 minutos en darnos cuenta. Lo que tardarían en llegar hasta nosotros sus últimos fotones… Porque siempre que miramos a las estrellas, en el fondo es como si viajásemos en el tiempo. Muchas de las estrellas que vemos cada noche en el firmamento es posible que dejaran de brillar hace miles de años… Para nosotros forman parte de nuestra realidad, pero ya no existen. Siempre me ha parecido inquietante. Te da una idea de lo caprichosa que puede ser la realidad que percibimos. Lo que vemos, lo que sentimos, puede que no sea exactamente real, sino solo producto de cómo podemos o no percibirlo.

Ya en el planeta, esos fotones son atrapados por las plantas, que, mediante la fotosíntesis, transforman esa energía lumínica en energía química. Las plantas obtienen su energía de la luz del sol. Y nosotros y todos los seres no herbívoros del planeta nos alimentamos de ellas para obtener energía química de los enlaces que las conforman. Las plantas que comemos se alimentaron del sol, los animales que comemos se alimentaron de las plantas que, a su vez, se alimentaron del sol. O de otros animales. Es lo que tiene estar en la cima de la pirámide. Es toda una cadena. Y no se queda ahí…

Los combustibles fósiles, como el gas natural, el carbón o el petróleo, consisten en materia orgánica de hace millones de años que quedó atrapada en la corteza terrestre a ciertas condiciones de presión y temperatura (de ahí que las llamemos fósiles), de modo que contienen también energía solar, plantas y animales, empaquetados a lo largo de mucho tiempo. Se generó en grandes cantidades (el carbón, por ejemplo, durante la Era Carbonífera, hace unos 350 millones de años) y seguimos recurriendo a él. Aunque sabemos que se acabará algún día y, lo que resulta más grave, que su uso compromete fuertemente el futuro de la humanidad por ser el causante del cambio climático. Es preciso buscar alternativas, lo contrario es una carrera hacia el abismo.

Porque si cada época está caracterizada por algún tipo de energía, la

actual debería ser la de las energías renovables, que también proceden en gran parte de nuestra estrella: la energía solar se capta en células fotovoltaicas, y otras energías procedentes del viento o el mar también dependen de las variaciones de la energía solar en la superficie de la Tierra, que producen vientos y corrientes marinas. La energía geotérmica también procede en último término del Sol, tras ser captada por el planeta, y se basa en utilizar la diferencia de temperatura entre dos puntos de la corteza terrestre, entre la superficie y puntos más profundos y calientes. La biomasa y los biocombustibles son materia orgánica, pero no tan antigua como la de los combustibles fósiles, como la madera o los residuos de cultivos. Al quemarla obtenemos energía calórica. También se queman los biocombustibles (como el bioetanol, el biodiésel, etcétera), y emiten CO_2, pero como las plantas de las que proviene ya absorbieron dióxido de carbono para desarrollarse, se considera que son menos contaminantes si tenemos en cuenta el balance total. El problema añadido es que las grandes extensiones de tierras necesarias para cultivos destinados a biocombustibles pueden quitar espacio para los cultivos alimentarios, y en ocasiones están causando la tala de bosques tropicales. El reto de la actualidad está en incrementar la producción de energía renovable y sacarle todo el partido posible. Incluso estamos avanzando en un proceso que hace décadas parecía imposible, la fotosíntesis artificial. Lo mismo que llevan haciendo las plantas y el fitoplancton[3] desde hace miles de años. Pero esta vez desde una planta industrial. Al tiempo.

CÓMO MANEJAMOS LA ENERGÍA

La historia de la energía tiene mucho que ver con la historia de las máquinas, de la tecnología. Antes de la Revolución industrial el mundo estaba en marcha en gran medida gracias a la energía que proporcionaban los músculos humanos o los animales. Un campesino arando la tierra, o utilizando bueyes para este cometido, o un artesano creando herramientas con sus manos. Había excepciones, porque las energías renovables no son tan nuevas como pudiera parecer viendo los anuncios de las empresas energéticas: por ejemplo, el molino de agua o el molino de viento, que ya poblaban notoriamente La Mancha en el siglo XVII, allá donde cabalgaba el caballero más famoso de la literatura española, el ingenioso (y no muy cuerdo) hidalgo don Quijote, que los combatía pensando que eran gigantes.

Quizá solo era un loco negacionista medieval del cambio climático, quién sabe.

Ya os conté que con la llegada de la Revolución industrial se produjo uno de los grandes puntos de inflexión en la historia de la humanidad y el mundo empezó a ser diferente. Las antes descritas leyes de la termodinámica se enuncian en estos tiempos, cuando los científicos (como Carnot, Clausius, Joule o Helmholtz) empiezan a observar los fenómenos energéticos en el funcionamiento de máquinas térmicas y mecánicas.

El físico Michael Faraday descubrió a principios del siglo XIX las leyes de la inducción electromagnética. Observó que al hacer girar un imán dentro de un material conductor, como una bobina de hilo de cobre, se genera corriente eléctrica en ese material. La primera dinamo funcionaba de este modo, haciendo girar el imán de manera manual, dándole sin parar a una manivela. Es decir, se trataba de una forma de convertir un movimiento circular (el de un imán, en el rotor) en energía eléctrica (en el cable o espira alrededor del que gira, en el estator). De esta forma, por ejemplo, según se desplaza una bicicleta, una moto o un coche, con el giro producido en las ruedas se puede conseguir que un imán gire, convirtiendo el movimiento en electricidad (en este caso generando corriente alterna mediante inducción electromagnética, de ahí el nombre de alternador), que se usa para alimentar ciertos sistemas, como los faros, los indicadores luminosos del tablero o la apertura automática del maletero. Mi bicicleta cuando era pequeño tenía uno, aunque la llamábamos erróneamente dinamo (que se basa en los mismos principios pero produce corriente continua, no alterna).

Este descubrimiento de Faraday abrió las puertas al uso de la energía eléctrica, que vino a cambiar el mundo radicalmente hasta el día de hoy. Por ejemplo, en las centrales térmicas se quema carbón o gas para calentar vapor y con ese vapor a presión se mueve una turbina que, en su giro, hace girar un imán, cuyo movimiento, como señaló Faraday, produce corriente. Después, el vapor se dirige a un condensador para volver a convertirse en agua y comenzar el ciclo de nuevo.

El esquema es siempre el mismo: hacer girar un imán para generar electricidad, la cuestión es cómo conseguimos que ese imán se mueva. Y de ahí obtenemos la energía eléctrica que luego usamos para encender la tele o el microondas. En una central hidroeléctrica, menos contaminante, se utiliza el paso del agua para mover la turbina y crear electricidad. En un aerogenerador, esos enormes molinos estilizados que se ven en el campo, el

viento hace girar las palas… Y gracias a la ley de Faraday obtenemos energía eléctrica.

El reto actual es conseguir almacenarla, un proceso extremadamente caro y complejo si se requiere hacerlo a escala industrial y global. Por eso en los últimos años tanto el mundo de las baterías como el interés de los científicos han experimentado un crecimiento y un desarrollo exponenciales, sobre todo en lo que se refiere a los diferentes elementos químicos que pueden usarse en su fabricación. Aunque ello conlleve de nuevo grandes problemas de abastecimiento de metales como el níquel, el litio, el cobalto, el manganeso… Y la consiguiente guerra de precios… Sin ir más lejos, una tonelada de cobalto cuesta unos 30.000€. Es el mercado, amigos. Afortunadamente, se investiga en la actualidad con baterías de sodio, mucho más barato y abundante, e incluso (y esto es para flipar) con baterías cuyo principal componente activo es la quitina (uno de los constituyentes del caparazón de los crustáceos), vainillina (compuesto orgánico que le da sabor y aroma a la vainilla), lignina (el polímero orgánico más abundante del mundo vegetal) o incluso colágeno de pescado. Sin duda, materias primas más baratas y sostenibles, aunque llegados a este punto siempre dudo de nuestra capacidad de ser responsables con nuestro planeta por encima de los intereses económicos de *holdings* y grandes multinacionales…

El caso contrario es el de los motores que pasan de la energía química, por ejemplo, en el motor de un coche que usa gasolina en el movimiento de las ruedas. Mediante mecanismos como los descritos fuimos domando la energía, aprendiendo a transformarla a nuestro gusto y sacándole provecho.

LA ENERGÍA DEL ÁTOMO

La energía nuclear no proviene del Sol (más bien al contrario), sino que está oculta dentro de los núcleos de los átomos, las «piezas de Lego» que constituyen los elementos químicos y forman la materia. Es fundamental en el universo y extremadamente poderosa. Hasta esas profundidades diminutas intentamos llegar los seres humanos para liberar una energía que en paralelo almacena el poder de destruirnos como especie.

Todo empezó cuando, a finales del siglo XIX, el físico francés Henri Becquerel descubrió una radiación misteriosa mientras investigaba el

fenómeno de la fluorescencia, que provenía del uranio y que imprimía las placas fotográficas como los rayos X descubiertos poco antes. Un caso de descubrimiento casual, pura serendipia. Primero se llamó a aquella radiación rayos Becquerel, pero más tarde otros científicos como Ernest Rutherford o el matrimonio Curie (formado por Pierre y Marie) observaron que esta radiactividad natural era algo más complejo que los rayos X (que eran simple radiación electromagnética de alta frecuencia y, por ello, muy energética). La radiactividad natural, que podía ser de tipo alfa, beta y gamma, y que pronto se encontró en otros elementos como el torio, el polonio o el radio, era diferente: se originaba en el mismísimo núcleo de los átomos, cuando estos se desintegraban: un núcleo inestable se convertía en otro más estable perdiendo masa y emitiendo radiación. Al emitir esa radiación nuclear, un átomo se convertía en otro, un elemento se convertía en otro: era algo así como el viejo sueño de los alquimistas, de transmutar un elemento en otro, aunque a otra escala. De la energía nuclear probablemente se sacaría más rendimiento (y más horror) que de la piedra filosofal. Por encima del polonio, que tiene una masa atómica de 84, todos los núcleos de los elementos son inestables y, por tanto, radiactivos.

La energía nuclear se suele obtener de dos maneras. La primera es la fisión nuclear, es decir, la división de un núcleo pesado en dos, liberándose energía. La fisión se inicia cuando se lanza un neutrón contra el núcleo atómico; ese núcleo se vuelve inestable y se fisiona en dos núcleos más estables. Además se producen varios neutrones que al chocar con otros núcleos fisionables, desencadenan más reacciones de fisión. A su vez, estas reacciones generan más neutrones, que golpean otros núcleos, etcétera. Esto es lo que se llama una reacción en cadena. La segunda manera es la fusión nuclear, consistente en la fusión de dos núcleos ligeros, produciéndose también energía. Se trata de la reacción más común en el universo, porque es la que sucede en el interior de las estrellas. Además, la liberación de la energía puede ser de manera controlada, como sucede en los reactores de las centrales nucleares, o descontroladas, como ocurre en las armas nucleares.

Porque si había una energía que se desprendía en las reacciones nucleares, entonces esa energía podía ser utilizada para los fines humanos. La energía disponible era inmensa, porque, como descubrió Einstein, seguía la famosa relación $E = mc2$, que se puede ver en muchos pósters y camisetas, una ecuación casi convertida en un meme, pero de enorme trascendencia. Lo que nos dice esa fórmula matemática es que de la

materia se pueden obtener cantidades ingentes de energía. Como el ser humano tiende a la violencia, así somos, lo primero que pasó por la cabeza de quienes nos gobiernan, en tiempos de la Segunda Guerra Mundial, fue construir una bomba atómica.

El propio Einstein firmó una carta, fechada el 2 de agosto de 1939, para el presidente estadounidense Roosevelt explicándole la prodigiosa naturaleza de esta forma de energía, la posibilidad de poner en marcha reacciones en cadena dentro del uranio y su posible utilización como arma poderosísima en tiempos de guerra contra el fascismo: era probable que el régimen nazi estuviera desarrollando su propia bomba nuclear, y era preciso adelantarse. «Una sola bomba de este tipo, acarreada en un barco y explosionada en un puerto, podría destruir el puerto entero junto con parte del territorio alrededor», decía la carta, y se quedaba corta. La información de Einstein fue tomada en consideración por el presidente Roosevelt que puso en marcha el programa nuclear estadounidense: el Proyecto Manhattan.

Pero no porque Einstein tuviera especial interés en su fabricación, sino más bien como advertencia al gobierno estadounidense, cuando un colega suyo Leo Szilard, físico húngaro, le advirtió que los alemanes estaban inmersos en su desarrollo y le rogó le ayudara a llegar a Franklin D. Roosevelt.

La misiva tuvo éxito y surgió el Proyecto Manhattan, un gran proyecto de ciencia colectiva que implicó a 130.000 personas (muchas de ellas científicos huidos de la Alemania nazi) y que costó 2.000 millones de euros de la época. Con la dirección científica del físico nuclear Robert Oppenheimer, citado al principio de este capítulo, se desarrolló en alrededor de una treintena de lugares en Estados Unidos y Canadá, aunque su sede principal estaba en el laboratorio de Los Álamos, Nuevo México. El objetivo del megaproyecto era crear una bomba de uranio y otra de plutonio. Uno de los escollos es que el uranio que se encuentra en la naturaleza, en forma de mineral, solo puede utilizarse en un 0,7 %, la porción que se puede fisionar, de modo que es preciso crear uranio enriquecido, utilizable en un 89 %, para la primera bomba. Que el uranio enriquecido sea tan difícil de conseguir es lo que ha frenado la universalización de las armas atómicas. En el diseño de la de uranio se chocan dos bloques de material para que comience la reacción en cadena y la explosión. Para la bomba de plutonio se utiliza una masa de plutonio, del tamaño de una pelota de tenis, y se generan explosiones alrededor para

que el plutonio se comprima y entre en fisión.

Según escribió en una carta su amigo Linus Pauling, para entonces premio Nobel de Química y luego premio Nobel de Paz en 1962, Einstein, que siempre se sintió culpable después de aquello, escribió: «Quizá puedan perdonarme».

LA GUERRA FRÍA

A partir de ese triste momento, la energía nuclear continuó su desarrollo por dos caminos. Por el lado belicista, algunos países comenzaron en la senda del armamento nuclear, en una loca carrera armamentística, con el objetivo de disuadir al contrario de atacar primero. La Guerra Fría llevó a momentos muy complicados, con posibilidad de guerra nuclear entre la URSS y Estados Unidos, que desarrollaban misiles intercontinentales y submarinos nucleares. El momento más comprometido fue el de la crisis de los misiles cubanos, en 1962, cuando los soviéticos colocaron esos misiles en la isla caribeña apuntando a Estados Unidos, después de que Estados Unidos hiciera lo propio en Turquía. Al final, la situación se resolvió, afortunadamente, por la vía diplomática, después de alcanzar un punto de alta tensión. En ese tiempo se genera la bomba de hidrógeno, la bomba H, basada no en la fisión, sino en la fusión nuclear, y que sucede a alta presión y temperatura, como en las estrellas, pero bastante menos romántico. Una bomba mil veces más potente que la primera bomba nuclear.

Llegados a este punto, la inexorable ley de Murphy hace aparición. Sí, si puede ir peor, irá a peor. Se empezó a investigar sobre bombas de cobalto, llamadas bombas sucias, que buscaban no solo la explosión destructiva, sino la emisión de gran cantidad de radicación gamma que afectara a los cuerpos de las víctimas, y que harían la zona bombardeada inhabitable durante décadas. En efecto, cada vez peor.

El cine no fue ajeno a la estupidez de la destrucción de la bomba atómica y el peligro de una guerra nuclear. Stanley Kubrick, en 1964, nos dejó *¿Teléfono rojo?, volamos hacia Moscú*, la más demoledora sátira sobre la Guerra Fría y el peligro atómico de la historia del cine. De la crisis de los misiles cubanos se hizo eco Oliver Stone en 1991 en la película *JFK*. De la indudable amenaza de que las máquinas tomasen el control, en 1983 se estrenó *Juegos de guerra*. Han sido cientos las películas que de un modo u otro han tomado la amenaza nuclear como fuente de inspiración, no

siempre con el respeto debido. Personalmente echo de menos una película sobre Hiroshima y Nagasaki, uno de los mayores genocidios, si no el que más, de la historia de la humanidad.

Hoy en día existen más de 14.000 armas nucleares en nueve países, aunque el 92 % de ellas se reparten entre Estados Unidos y Rusia. Se han dado acuerdos internacionales para el desarme nuclear, pero no funcionan del todo (no suelen ser acatados por, precisamente, las potencias que tienen armas nucleares) y, quizá, nunca nos desharemos de esa amenaza existencial a la civilización. Se le atribuye a Einstein también esta frase: «No sé con qué armas se peleará la tercera guerra mundial, pero la cuarta será con palos y piedras». Por otro lado, comenzó el uso de la energía nuclear de forma pacífica (aunque peligrosa) en las centrales nucleares, sobre todo después de la crisis del petróleo, en 1973, cuando se experimentó una fuerte subida de los precios del combustible provocada por los países productores, en protesta por la guerra del Yom Kipur entre Israel y Siria y Egipto.

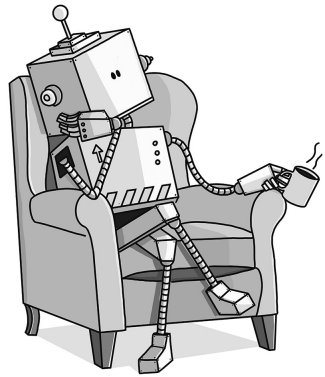
UNA ALTERNATIVA

No todo deberían ser malas noticias. La tecnología no es necesariamente el enemigo, somos los seres humanos y nuestra propia naturaleza la que puede convertirla en un peligro inminente o irresoluble. En las centrales nucleares se producen reacciones en cadena controladas dentro de un reactor nuclear utilizando materiales radiactivos, como el uranio-235 (no enriquecido). Esas reacciones producen gran cantidad de energía térmica y pueden durar hasta tres años. El proceso a continuación no es demasiado novedoso, sino similar a una central térmica de carbón, fuel o gas: la energía térmica se utiliza para calentar agua, que se convierte en vapor a alta presión y temperatura (con el que llevamos tratando desde la Revolución industrial), y el vapor mueve una turbina que, a su vez, genera energía eléctrica. Y esa es la electricidad que luego podemos usar en nuestros hogares e industrias.

Por supuesto, puede presentar varios inconvenientes, y por ello las centrales nucleares son recibidas con un potente movimiento antinuclear desde los años setenta: de ahí viene el lema «¿Nucleares? No, gracias». Uno de esos inconvenientes es la seguridad: un accidente en una central nuclear puede convertirse en una catástrofe de dimensiones épicas. En 1979, la

central estadounidense de Three Mile Island sufrió una fusión parcial del núcleo del reactor y puso en peligro a dos millones de personas que vivían en los alrededores. Por suerte, se evitan las fugas radiactivas y todo queda en un tremendo susto. La verdadera catástrofe ocurrió en la central soviética de Chernóbil, en 1986, cuando el núcleo se derritió y liberó una nube radiactiva que cubrió (y pudo ser peor) parte de Europa. El último caso sonado sucedió en la central de Fukushima, cuyo accidente fue causado por un tsunami de 15 metros de altura, generado por un terremoto en el mar, que asoló la costa de Japón en 2011. El agua de la enorme ola anegó los generadores que refrigeraban la central y los inutilizó, lo que provocó explosiones en cuatro reactores. Esto causó que los reactores se sobrecalentaran y se produjeran tres fuertes explosiones. 19.000 personas fallecieron en aquella tragedia combinada de tsunami y desastre nuclear.

Más allá de posibles accidentes, que afortunadamente no son frecuentes, el mayor inconveniente son los residuos nucleares, cuya radiación es fatal para la salud y que es imposible eliminar en un tiempo razonable (pueden durar cientos de miles de años), así que deben almacenarse en cementerios nucleares bajo tierra, rodeados de barreras naturales y artificiales. A largo plazo no parece una opción segura y sostenible; además, estas instalaciones, como es comprensible, generan mucho rechazo popular allí donde se establecen. ¿Cuál será el futuro de este tipo de producción de energía tan complejo y poderoso? Alemania ha dejado de producir energía nuclear (y por eso depende ahora mismo más de lo que desearía del gas procedente de Rusia) y muchos países revisan su política energética en este sentido. Hay quienes dicen que la energía nuclear es una energía verde porque se genera sin apenas emisiones de gases de efecto invernadero, y sería una energía limpia para salir del problema del cambio climático. Pero, como vemos, la energía nuclear puede resultar demasiado contaminante y peligrosa para utilizarse alegremente y sin preocupaciones. ¿Qué hacemos? ¿Es tan real como se prevé *a priori* la amenaza que supone este tipo de energía?



CRUCEMOS LOS DEDOS

3 de agosto de 2046. 12.26 p.m. (GMT 0)

3 de agosto de 2046. Me remito a mi memoria en ese fatídico día. Unos días después, solo unos días después, si no encontramos una solución, los sistemas de refrigeración del núcleo de la mayoría de las centrales nucleares del mundo dejarán de funcionar y el combustible aumentará de temperatura hasta terminar fundiéndose, causando lo que se llama fusión del núcleo, como ocurrió en Fukushima allá por 2018. En la fusión del núcleo se genera hidrógeno, que en combinación con el oxígeno y con una fuente de calor es muy explosivo, pudiendo causar daños en los edificios de contención y facilitar la emisión de material radiactivo. Eso no llegó a ocurrir en TMI, pero sí en Fukushima. Eran explosiones químicas, no nucleares. Pero sí inquietantes.

Los edificios de contención son muy robustos y tienen sistemas para eliminar el hidrógeno de forma pasiva, es decir, sin necesidad de alimentación eléctrica, mediante unos dispositivos llamados recombinadores, que mezclan el oxígeno y el hidrógeno obteniendo agua gracias a unos catalizadores.

Ante una situación así, antes de llegar a esa situación, lo más indicado sería utilizar la autonomía de los generadores diésel para extraer el combustible del reactor y trasladarlo a la piscina de combustible, un trabajo que se puede realizar en menos de una semana. Una vez en la piscina, con al menos 7 metros de agua por encima del combustible, se garantiza el blindaje a las personas y la refrigeración de

dos formas. La primera necesita alimentación eléctrica y se realiza con el sistema de refrigeración de la propia piscina. La segunda forma es mediante el aporte de agua que se vaya evaporando. Para ello, las centrales disponen de múltiples fuentes de agua y varias de ellas no necesitan alimentación eléctrica para funcionar, bien porque el aporte de agua se realiza por gravedad o bien mediante camiones de bomberos (aunque este último caso ahora lo descarto). Crucemos los dedos.

En este momento no soy nada optimista.

7

ESPIANDO DENTRO DE LA MOLÉCULA DE LA VIDA: LAS INTERACCIONES ENTRE LA BIOLOGÍA Y LA TECNOLOGÍA

Aunque cuando pensamos en tecnología nos vienen a la cabeza circuitos, tornillos, frío metal, corrientes eléctricas, píxeles, locomotoras o megabytes, lo cierto es que la tecnología también tiene que ver con elementos poco o nada metálicos como nuestras propias células o las semillas de las plantas que consumimos. Por ejemplo, la Revolución verde, entre los años sesenta y ochenta del siglo XX, fue un controvertido salto tecnológico en cuestiones agrarias que permitió un aumento de la producción de alimentos sin precedentes. Por otro lado, la biotecnología implica a la vida en la búsqueda de soluciones, mientras que la ingeniería genética, también controvertida, plantea posibilidades llenas de luces y sombras. Sin olvidarnos de la medicina, que nos ayuda a conseguir una mejor calidad de vida y una esperanza vital mayor, la tecnología cada vez tiene una presencia más importante.

LA REVOLUCIÓN VERDE

El valle Yaqui, en México, algunos cientos de kilómetros al sur de Arizona, es un lugar algo inhóspito, seco y polvoriento, no muy conocido fuera del propio valle. Allí estaba la Estación Experimental del Valle Yaqui, no podía llamarse de otra forma, un potente centro de investigación agrícola que a mediados del siglo XX había entrado en completa decadencia. Las ventanas estaban rotas, sus campos cubiertos por la maleza, las vallas se habían caído y las ratas campaban a sus anchas. Lo que antes había sido un vivo centro científico donde se criaba ganado y se cultivaban naranjas e higos, ahora se hallaba abandonado y olvidado.

Fue entonces cuando llegó Norman Borlaug, un joven fitopatólogo estadounidense, decidido, con el apoyo de la Fundación Rockefeller, a poner de nuevo en marcha aquella institución. Su objetivo, después de dejar atrás a su mujer y a su hija, era que el trigo pudiera resistir una enfermedad llamada la roya del tallo, un hongo que arruina los cultivos, poniendo en peligro la alimentación de la población. No disponía de demasiados medios, pero acabaron llamándole «el hombre que salvó mil millones de vidas».

En 1967, los hermanos William y Paul Paddock habían publicado un libro con el alarmista título de *Famine 1975! (¡Hambruna, 1975!):* «Es inminente una colisión entre la explosión demográfica y la agricultura estática», escribieron, «la conclusión es clara: no hay posibilidad de mejorar la agricultura pronto para evitar la hambruna». Muchos expertos estaban preocupados. En aquella época la población mundial crecía a una tasa cercana al 2 %, quizá la más alta en la historia de la humanidad, en algunos países en vías de desarrollo como Egipto o Brasil, el crecimiento era casi del 3 %. La agricultura no crecía pareja. Paul Ehrlich bautizó este hecho como la bomba P o la explosión demográfica en un libro del mismo nombre. «La lucha por alimentar a toda la humanidad ha terminado», escribió. Pensaba que en los años setenta morirían millones o incluso cientos de millones de personas en todo el planeta y lo contó en varios programas de televisión; su libro vendió más de dos millones de copias.

Hoy en día, aunque nos parezca que en un país como España hay comida por todas partes, incluso para las personas que sufren pobreza extrema, la alimentación de la población mundial no es un problema menor. En la década de 1970 se pensaba que, debido al gran aumento del número de seres humanos, no habría alimentos para todos y se pasarían todavía más grandes hambrunas, algo parecido a lo que ya había predicho el economista Thomas Malthus en el siglo XIX: mientras que la población

crece geométricamente (se multiplica de generación en generación), los alimentos crecen solo de manera aritmética (es decir, se añaden, pero sin multiplicarse). Esto provocaría el desastre alimentario con solo sentarse a esperar; pronto habría muchas más bocas que alimentar que alimentos con los que llenar esas bocas. Las predicciones de Malthus no eran del todo fiables, porque no tenían en cuenta avances tecnológicos o la caída de la natalidad, entre otros factores; sin embargo, en países como India o Pakistán, por ejemplo, la población crecía más rápido que la producción alimentaria.

Al final, Paddock y Ehrlich no acertaron en sus predicciones, en parte gracias a Borlaug. Allí, desde su valle mexicano, con un equipo de científicos de ese país, diseñó e «imaginó» formas para alimentar a la población mundial. En un trabajo de gran minuciosidad probó durante años miles de cultivos de trigo hasta conseguir cultivar uno resistente a la roya, y sin disponer de las tecnologías de secuenciación genética que surgirían décadas después. Se dedicó a cruzar especies a la vieja usanza y a observar los resultados positivos que se iban produciendo, para potenciarlos. Seleccionar a mano, la genética de toda la vida.

Además de desarrollar trigo resistente a la roya, también mejoró el rendimiento de las cosechas: la naturaleza, guiada por Borlaug, ponía ahora más energía en los granos de los cereales (la parte aprovechable) que en los tallos (que no sirven para comer). El científico, que había viajado por todo el mundo, a lugares como Pakistán o India, para extender sus variedades de trigo y también sus métodos para cultivarlo, intentaba obtener respuestas. Afirmaba convencido que la productividad de las cosechas podía multiplicarse varias veces. Después de revolucionar el cultivo del trigo, hizo lo mismo con el maíz y el arroz, que es el cultivo de mayor importancia en el planeta. En la segunda mitad del siglo xx, la producción mundial de cereales se triplicó utilizando casi la misma superficie de tierra para los cultivos. Así logró paliar en buena medida el hambre que se avecinaba. Por sus contribuciones, el fitopatólogo fue galardonado con el Premio Nobel de la Paz en 1970. «Borlaug ha ayudado a proporcionar pan a un mundo hambriento más que cualquier otra persona de esta época», dijo un jurado del premio. Me llama la atención que la figura de Borlaug no sea más conocida.

El término Revolución verde, tan épico, fue acuñado después por William Gaud, exdirector de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), en 1968, quien dijo esto, al hilo de

algunos de los principales acontecimientos políticos de su época: «Estos y otros desarrollos en el campo de la agricultura contienen los ingredientes de una nueva revolución. No es una violenta revolución roja como la de los soviéticos, ni es una revolución blanca como la del sah de Irán. Yo la llamo la Revolución verde». Parte de la tecnología utilizada en este proceso, como los tractores industriales o los productos agrotóxicos, procedían de un giro hacia fines civiles de la industria militar que se había generado en la Segunda Guerra Mundial. Por ejemplo, para el diseño de los tractores se utilizaron conocimientos aportados por el diseño de carros de combate. A su vez, la industria nuclear nacida para desarrollar la bomba atómica que se lanzó sobre Hiroshima y Nagasaki viró para dedicarse a técnicas para el control de plagas consistentes en la esterilización de ejemplares irradiados o para los procesos de conservación de alimentos mediante la esterilización nuclear.

La Revolución verde, pues, consistió en el descubrimiento y uso de nuevas y mejores variedades de cereales, más resistentes a las enfermedades y más productivas, pero también en otras cosas: la mecanización de la agricultura (esas grandes máquinas que se ven por los campos), el riego por irrigación, la creación de grandes áreas de cultivo para un solo cereal (el monocultivo, no como en las huertas tradicionales, donde se cultivan las lechugas junto a los tomates y los calabacines), el uso de grandes cantidades de agua, fertilizantes y plaguicidas, en fin, la industrialización de la agricultura. Así se consiguió una producción mayor que con los métodos y las variedades tradicionales. E, inevitablemente, supuso la entrada de las grandes corporaciones en el negocio, no en vano la Fundación Rockefeller estuvo en el origen del proceso. Como estos nuevos cereales necesitaban muchos fertilizantes, pesticidas y agua, quienes acapararon los beneficios no fueron tanto los campesinos sin recursos como estas grandes corporaciones que podían sostener la inversión. Las granjas se hicieron más extensas y mecanizadas. Creció la desigualdad.

Por consecuencias como esta la Revolución verde es un fenómeno ampliamente criticado. La activista y física india Vandana Shiva es una de las caras más conocidas de la lucha contra la citada revolución y los alimentos transgénicos. Según sus críticos, esta revolución ha mermado la biodiversidad y acabado con los pequeños campesinos, convirtiendo la alimentación en un negocio extremadamente lucrativo en manos de tres o cuatro empresas globales. Se dice, también, que las variedades utilizadas en la Revolución verde no son demasiado buenas desde un punto de vista

nutricional: contienen proteínas de baja calidad y alto nivel de hidratos de carbono, es decir, que se optó por algo así como el «burro grande ande o no ande», aunque con ello se contribuyese a paliar las hambrunas por venir. La utilización de productos químicos tóxicos o la manipulación genética tampoco tienen demasiada buena prensa, así como el gran gasto de agua o combustible que se produce en este tipo de agricultura intensiva. Por ejemplo, el uso masivo de agrotóxicos y fertilizantes han acabado por esterilizar muchos suelos, mermando la actividad microbiana y la fauna que allí se da, y, por si fuera poco, puede contaminar las aguas subterráneas y generar trastornos notables en el equilibrio biológico.

Los insecticidas sintéticos son un modo de combatir las plagas que nacen con este nuevo modelo agrícola. *Primavera silenciosa*, en 1962, fue el título de un célebre libro de Rachel Carson donde se comienza a criticar duramente el uso de DDT (dicloro difenil tricloroetano) y otros pesticidas, y que supuso un fuerte impulso al movimiento ecologista y la concienciación de la población sobre los problemas medioambientales. Carson se convirtió en un objetivo para la difamación de las industrias químicas, que la tacharon de alarmista o de loca, una mujer que quería traer de nuevo las plagas a dominar la Tierra. Pero al final el DDT fue prohibido en Estados Unidos y se creó una Agencia de Protección Ambiental.

Hay quien dice, como avancé antes, que la Revolución verde incluso aumentó la desigualdad y la pobreza, porque los fertilizantes que se promocionaron y los sistemas de riego no son asequibles para todos los agricultores, lo que pone a los pequeños campesinos en una posición de desventaja frente a los grandes. Ahora la tecnología relacionada con lo agrario tiene más que ver con la modificación genética, métodos mucho más avanzados que de los que disponía Borlaug: manipulando los genes se consiguen especies transgénicas que resisten a enfermedades, herbicidas o insectos. Algunos opinan que estos métodos suponen una segunda Revolución verde, basada en la biotecnología y la ingeniería genética. Los organismos genéticamente modificados (OGM), los comúnmente llamados transgénicos, son creados en laboratorio con técnicas que permiten la transferencia de un organismo a otro del gen que codifica una característica determinada. Así se modifica el genoma natural del organismo, que es el conjunto de genes que determina cómo es cada ser vivo, cómo somos nosotros, un hámster o un maíz. Mediante estas técnicas se podrían crear quimeras dignas de películas de ciencia ficción (o de

terror).

El hambre continúa en el mundo, a pesar de las revoluciones descritas, pero no está relacionada con la falta de cultivos, sino con los problemas en la distribución, la pobreza, la inestabilidad política o los conflictos bélicos. Aunque hay quienes dicen que más pronto que tarde será necesaria una segunda Revolución verde, o una Revolución verde 2.0, porque la población sigue creciendo de manera alarmante (puede que se llegue a los 10.000 millones de personas en 2050) y desacompasada con la producción agrícola. Los países en desarrollo cada vez demandan más carne (que es una fuente de alimentación que acapara muchos recursos agrícolas: hace falta mucho cereal para alimentar a una vaca), mientras que es posible que el cambio climático reduzca los resultados en las próximas décadas (la propia actividad agrícola masiva acelera el cambio climático). Una vez más nos enfrentamos al problema de las cosas de comer.

LA BIOTECNOLOGÍA

¿Qué es eso de la biotecnología? Aunque nos suene como algo alejado, un proceso que se desarrolla en lejanos laboratorios, entre matraces, batas blancas y pizarras en las que se leen fórmulas incomprensibles, la biotecnología es algo muy cotidiano. Si te has vacunado (deberías) contra la COVID19, entonces has entrado en contacto con la biotecnología. También si has tomado algún antibiótico, un vaso de vino, uno de leche o un *snack* de maíz. Vaya, que es extremadamente difícil, a no ser que vivas aislado en mitad de la naturaleza, que la biotecnología no se haya cruzado en tu camino y haya penetrado de algún modo en tu organismo. La biotecnología se sirve de células vivas para manipular o desarrollar productos, para buscar soluciones a problemas relacionados con la agricultura, la medicina o el medio ambiente.

Es tan diversa en sus ámbitos de aplicación que, de hecho, suele clasificarse por colores, como si fuera el parchís. Por ejemplo, la biotecnología roja es la que funciona en el ámbito de la salud. La verde, en el ámbito de las plantas y la agricultura. La azul se refiere a nuestros océanos. La amarilla se aplica en la industria alimentaria. La blanca, en los procesos industriales. La marrón, en veterinaria… Y podríamos seguir con el resto de los colores que puedas imaginar, lo que da una idea de la cantidad de aplicaciones en diversos sectores que tiene esta disciplina

tecnológica.

Una vez más, la biotecnología, aunque suene como algo novedoso, se hunde en los orígenes de la civilización. Si es que está todo inventado… Fíjate, se calcula que hace 7.000 años algún ser humano dejó olvidado al sol un recipiente con agua y cereales. Cuando se dio cuenta y regresó a por él, lo que encontró fue la primera y espumosa cerveza. ¡Salud! Aunque, ojo, aquella primera birra debía de ser un brebaje mucho más espeso y amargo que el dorado líquido que ingerimos hoy en día: no creo que me gustase probarla. En cualquier caso, desde entonces se usa el proceso de fermentación para generar esta bebida burbujeante y mágica, y la fermentación se produce con la ayuda de unos microorganismos, las levaduras, unos hongos microscópicos que transforman los azúcares que se encuentran en el mosto de cebada en etanol (que es el alcohol que emborracha) y dióxido de carbono (que es el gas de las burbujas). De modo que la cerveza, y todos los productos fermentados, como el pan, el vino, el queso o el yogur, son fruto de la biotecnología. Esas pequeñas levaduras microscópicas han hecho mucho por el desarrollo y la alimentación del ser humano, hasta han animado sus fiestas. Gracias, levaduras.

Otro ejemplo de biotecnología es el uso de animales como ganado, o la crianza selectiva, que es una especie de selección genética hecha de manera natural, como vimos en el caso de Norman Borlaug cuando seleccionó variedades de trigo resistentes a enfermedades en México y salvó a millones de personas del hambre que se avecinaba. Con la crianza selectiva, que el ser humano pone en práctica desde hace muchísimos siglos, se consiguen mejorar los cultivos y el ganado para adaptarlos mejor a las necesidades de la población. Consiste, básicamente, en elegir a los mejores especímenes para que se reproduzcan. Por ejemplo, la vaca que dé más leche o las plantas que den maíz más grande y tierno: esas serán las que tendrán descendencia. Así, con el paso del tiempo, el ser humano fue domesticando infinidad de productos naturales a base de seleccionar sus genes sin necesidad de grandes aplicaciones tecnológicas ni de avanzados laboratorios, en los campos y en las cuadras.

En un proceso de lo que llamamos serendipia, es decir, de descubrimiento de chiripa, Alexander Fleming, un médico y científico británico, observó cómo en uno de sus cultivos bacterianos, que había dejado olvidado, creció un hongo. Corría el 28 de septiembre de 1928, y ese hongo, el *Penicillium notatum,* estaba segregando una sustancia que acababa con los estafilococos alrededor. Así, de la mano de la penicilina,

comenzó la andadura de los antibióticos, que han salvado millones de vidas. Ahora vivimos en tiempos de preocupación, pues cada vez es más frecuente que aparezcan cepas de bacterias resistentes a los antibióticos (las superbacterias que nos dejan indefensos), lo que, por otro lado, cuando nos falte, nos hará apreciar más el descubrimiento de Fleming, que fue galardonado con el Premio Nobel de Medicina en 1945.

La biotecnología, tal como la imaginamos ahora, comienza a acelerarse en los años sesenta, cuando se viven grandes avances en cuestiones de biología molecular y genética. Algunos años antes, en 1953, Watson y Crick habían presentado al mundo su gran descubrimiento: la estructura de doble hélice de la molécula de ADN, esa que codifica lo que somos. Hay 2,5 metros de ADN en el núcleo de cada una de nuestras células, minuciosamente empaquetado en los cromosomas para solo ocupar el diminuto espacio de seis micrómetros (la millonésima parte de un metro). Cada célula del cuerpo contiene el genoma completo, la información para crear un individuo y controlar sus procesos metabólicos y químicos. Los científicos no tardaron en operar sobre ella para conseguir nuevos descubrimientos y avances. Si conocemos el lenguaje en el que está escrito el libro de instrucciones de la vida, podemos empezar a modificarlo. La ingeniería genética es la disciplina que permite manipular en el laboratorio (y no mediante crianza selectiva) el ADN y mezclar genes de diferentes procedencias.

Una de las tecnologías más prolíficas en este sentido ha sido la del ADN recombinante, que ha dado múltiples frutos en diferentes ámbitos. La técnica consiste, precisamente, en introducir en un organismo una molécula de ADN recombinante, es decir, creada por la unión de genes de diferentes organismos. Se cortan hebras de ADN mediante enzimas y se pegan en otro lado, como si estuviéramos editando un film de celuloide, esto es, como un «corta y pega» de los que hacemos a diario en nuestro procesador de textos o buscador de internet. Pero en vez de con palabras, con genes. Al cambiar el manual de instrucciones de la célula se producirán diferentes resultados, en otras palabras, se originarán cambios en algunos rasgos del organismo que la reciba. Así es como se han generado plantas resistentes a hongos o bacterias, los famosos organismos transgénicos ya citados, o el desarrollo de diferentes vacunas, así como la producción de fármacos como la insulina o la hormona del crecimiento. La insulina, por ejemplo, se genera insertando ciertos genes animales en una bacteria, con estas instrucciones la bacteria trabaja para nosotros fabricando la insulina.

La primera mascota transgénica fueron los GloFish, unos peces que brillaban en la oscuridad en alegres y fluorescentes colores. Se obtuvieron tras insertar genes de medusa bioluminiscente en peces cebra. Personalmente, debo decir que esta banalización de algo tan fundamental como la genética me parece cuando menos hortera, la verdad.

Si pensamos en ejemplos menos triviales, en el campo de la agricultura encontramos el maíz transgénico Bt, al que se le agregan genes de la bacteria *Bacillus thuringiensis*. Esta produce las proteínas que protegen a la planta de algunos insectos: con este gen, que originalmente no es suyo, la planta está protegida ante ellos. Una de las críticas consiste en que este gen implantado puede transferirse a su vez a las especies autóctonas, con efectos que son difíciles de predecir.

En Francia y Alemania, por ejemplo, prohíben el cultivo de maíz transgénico que se cultiva en España por temor a dañar la fauna del suelo, otras especies de insectos beneficiosos. ¿La razón? No se puede contener el polen que liberan las plantas transgénicas y evitar que contaminen a sus equivalentes no transgénicos. Por esta razón, en Estados Unidos y Argentina, las malas hierbas se están volviendo resistentes a los herbicidas asociados a los cultivos transgénicos. Y, como sabéis, en torno a los transgénicos, por motivos como este, hay una amplia controversia, por ejemplo, la poderosa organización ecologista Greenpeace le tiene la guerra declarada a los organismos genéticamente modificados. Con las cosas de comer, dicen algunos, no se juega.

La ingeniería genética también tiene interesantes aplicaciones en el campo de la salud (que trataremos a continuación), en la llamada terapia génica, una forma de tratar las enfermedades genéticas producidas por genes defectuosos, sustituyéndolos por otros funcionales. Así se pueden manejar enfermedades como las deficiencias inmunitarias o la fibrosis quística con cierto éxito.

¿Has oído hablar de los probióticos? Son alimentos a los que se les agrega microorganismos, dentro de las prácticas biotecnológicas, para mejorar la salud de las personas. Los más comunes son, tal vez, aquellos destinados a mejorar la flora intestinal, todas esas bacterias que nos ayudan a hacer la digestión correctamente. Seguro que has comido algún yogur que decía tener algún tipo de bacteria para este fin. El mundo de la cosmética también ha hecho un uso profundo de la biotecnología, sobre todo en la incorporación de enzimas en las cremas y cosméticos para proteger a la piel del sol y la contaminación. Algunos productos químicos

procedentes del petróleo, usados en este sector tradicionalmente, han sido reemplazados por otros que se obtienen de organismos modificados genéticamente, lo que tiene un efecto positivo en el medio ambiente. También los detergentes hacen uso de la biotecnología para contaminar menos: se han desarrollado enzimas que quitan las manchas sin utilizar fosfatos, así se reemplazan los componentes más contaminantes de los detergentes.

Otra interesante, y espectacular, aplicación es la de la clonación. En muchas especies mediante la reproducción asexual es normal que se produzcan clones, copias literales de seres vivos, igual que se copian las células a sí mismas. Cuanto más simple es un ser vivo, más fácil es clonarlo. En seres humanos y mamíferos en general esto no es tan común. El 5 de julio de 1996 nació la oveja Dolly, el primer mamífero clonado por transferencia nuclear somática, aunque antes ya se habían clonado plantas o renacuajos. Dolly, que acaparó la atención de los medios de comunicación de todo el mundo, era exactamente igual a la oveja donante según este proceso: se toma una célula epitelial (de las que recubren los órganos y las glándulas) de una oveja (madre genética o donante) y se le saca el núcleo completo, donde reside el ADN. Se toma un óvulo de otra oveja y se le quita el núcleo. Por último, se introduce el núcleo de la primera en el óvulo vaciado. Así se obtiene un cigoto artificial, criado en el laboratorio. Este cigoto se convierte en un embrión que, a su vez, se introduce en una madre adoptiva. Nace un cordero exactamente igual que la madre genética, la que cedió el núcleo celular. Ha tenido lugar la clonación, que tiene una indudable aplicación en el ámbito de la salud. ¿Que no se encuentra un hígado compatible para un trasplante? Basta con clonarlo utilizando células del hígado del paciente, y no causará rechazo alguno. En este punto la siguiente e inquietante pregunta es si podríamos clonar incluso un ser humano completo. Probablemente sí, pero ahí ya chocamos contra los límites éticos de la ciencia y los debates de la bioética. Científicos chinos ya han conseguido clonar a dos macacas, y cuando una técnica llega a aplicarse a los monos, siempre se piensa que el paso siguiente somos sus primos, los seres humanos, aunque la ONU ha pedido a todos los países del mundo que prohíban la clonación humana. Tampoco tenemos claro cómo sería un clon humano, ni por qué deberíamos practicar este tipo de clonación, ni si solo reproduciría el cuerpo físico o también generaría la misma consciencia.[4] En la película de ciencia ficción *La isla,* dirigida por Michael Bay en 2005, con Ewan McGregor y Scarlett

Johansson como protagonistas, con reminiscencias del libro *Un mundo feliz* (Aldous Huxley, 1932), ya se especula con la posibilidad de tener un cuerpo clonado como sustituto en caso de enfermedad, lo que plantea infinitas dudas éticas: el clon no sería un cuerpo «vacío», sino que sentiría y pensaría por sí mismo, tendría su propia consciencia. La clonación, aunque me parezca extremadamente narcisista, podría ser una solución a tener en cuenta si se quiere disponer de un amigo extremadamente parecido a uno mismo y ser feliz en su compañía. Aunque, insisto, la idea me parece extremadamente narcisista.

El Proyecto Genoma Humano, que comenzó en la década de 1990, consiguió cartografiar todos nuestros genes, conocer a fondo nuestro libro de instrucciones. En 2003, justo cincuenta años después del descubrimiento del ADN, fue cuando se completó la secuencia del genoma. Gracias a la secuenciación del genoma podemos conocer con gran precisión el origen genético de multitud de enfermedades y empezar a buscar soluciones. Todavía nos quedan por ver muchos desarrollos prodigiosos en este ámbito, según desentrañemos los misterios del ADN y les encontremos más posibles aplicaciones.

LA TECNOLOGÍA EN LA MEDICINA

La medicina es otro ámbito en el que la tecnología tiene un papel importante. Ya hemos citado aplicaciones biotecnológicas relacionadas con la salud, en cuestiones como vacunas, antibióticos o probióticos. Pero la interrelación entre ambas disciplinas no acaba ahí, hay otros modos en los que la tecnología puede ayudarnos a sentirnos mejor o a comenzar un proceso de curación. Se usa, de hecho, con varias finalidades: para diagnosticar, para prevenir, para rehabilitar e incluso para organizar de forma más eficiente los centros de salud y hospitales.

Una primera etapa de la tecnología aplicada a la salud puede datarse en la aparición de los primeros fármacos, y no me refiero a las plantas del bosque que se utilizaban antiguamente (los chamanes, los druidas o las mujeres tenidas por brujas, sin ir más lejos). La morfina, el gran analgésico, se obtuvo del opio a principios del siglo XIX, una época en la que, por cierto, el opio estaba muy de moda incluso por sus usos recreativos (también del opio sale la funesta heroína). Algunos de los primeros fármacos sintéticos (no naturales, como natural es la morfina), sobre todo

analgésicos, se empezaron a producir a finales del siglo XIX; a principios del XX comenzaron a investigarse otros para tratar enfermedades como la sífilis. Por ejemplo, no siempre ha habido aspirinas para aliviar un dolor de cabeza o anestesia epidural que ayude en partos sin dolor o complejas operaciones de columna. Si conoces a alguna madre que recurrió a ella, y seguro que sí, podrá contarte el alivio que se siente en los prolegómenos del parto cuando te ponen la epidural. Algunas lloran, pero ya de alivio y alegría más que de dolor. Otro caso clásico de tecnología médica es el marcapasos, que se implantó con éxito por primera vez en 1958. Se trata de un dispositivo con una pila insertado en el pecho, normalmente en el lado izquierdo, y que controla la frecuencia cardiaca, enviando señales eléctricas al corazón cuando late de forma más lenta o con frecuencia irregular. Vaya que, como su nombre indica, le marca el paso, como si estuviera en el ejército. ¿Habéis visto la película *El sargento de hierro*, protagonizada por Clint Eastwood? Pues algo así: el marcapasos es un tipo duro capaz de mantener al corazón, tan romántico, a raya.

Algunas otras de las tecnologías médicas con las que estamos más familiarizados son también las relacionadas con el diagnóstico por imagen. ¿Quién no se ha hecho una radiografía o una resonancia (yo llevo unas cuantas)? Las radiografías se realizan con rayos X, que fueron descubiertos por Roentgen en 1895: se trata de ondas electromagnéticas de una frecuencia tan energética que consiguen atravesar el cuerpo, excepto los huesos, e imprimir una placa fotográfica colocada detrás con una imagen ciertamente fantasmal. Ahí se pueden ver, por ejemplo, las fracturas de tibia y peroné, los problemas en el tubo digestivo o ciertas afecciones pulmonares, entre muchos otros problemas de salud. El propio Roentgen alucinó cuando vio la radiografía de los huesos de la mano de Anna Bertha, su mujer, con el anillo que llevaba en el dedo anular: la primera radiografía de la historia, algo tétrica, es casi una obra de arte. Por su trabajo en este campo, en 1901 lo galardonaron con el Premio Nobel de Física. Hoy las radiografías se utilizan de una manera muy cotidiana, eso sí, con mesura, porque estar sometido a esta radiación puede producir cáncer, aunque dada la dosis es muy infrecuente.

Pero se han desarrollado técnicas mucho más avanzadas. Una de ellas es el TAC (la tomografía axial computerizada), un *upgrade* a tres dimensiones de la radiografía de toda la vida. En este caso se hacen girar los rayos alrededor del cuerpo para obtener una imagen tridimensional, mucho más útil. La dosis recibida es más alta que en la radiografía. La

resonancia magnética nuclear (RMN) funciona de manera diferente, sin la necesidad de rayos X, pero con el concurso de imanes y ondas de radio que interaccionan con las moléculas de agua dentro del organismo. Las ondas de radio hacen vibrar a esas moléculas y estas emiten su propia radiación que es detectada por el aparato. Dependiendo del tejido en el que esté la molécula emitirá diferente y así se detectará para formar una imagen bastante nítida, como si se cortase el cuerpo en rebanadas de pan de molde. Es útil sobre todo cuando se utiliza para observar tejidos blandos como vasos sanguíneos, músculos o tendones. Eso sí, para que salga bien hay que permanecer inmóvil, por lo que a veces resulta complicado usarla con niños, que por norma general suelen ser bastante inquietos. Como dijo el político Alfonso Guerra: «Quien se mueva no sale en la foto».

La resonancia magnética funcional se realiza en el cerebro y permite ver qué partes de este órgano, el más complejo del universo, se activan cuando realiza cada función: podemos saber qué parte del cerebro implica a la memoria, al habla o al movimiento, o cuál se activa cuando nos gusta un sabor o vemos a una persona que consideramos bella. Esto nos permite conocer más sobre nuestra forma de pensar, de manejar el cuerpo, de nuestra conciencia. ¿Lograremos algún día comprender nuestro cerebro? Es decir, ¿logrará alguna vez el cerebro comprenderse a sí mismo? Me parece complicado, aunque hay avances en esa dirección. En otro orden de cosas, a veces se introduce una glucosa radiactiva en el cuerpo, en vena, y dado que los tumores consumen más glucosa que el resto del cuerpo, el azúcar se dirige hacia ellos. Al llegar a su destino y dado que es radiactiva, se consigue descubrir su localización exacta: es la técnica llamada tomografía por emisión de positrones (PET).

Una aplicación muy obvia de las últimas tecnologías es la de la telemedicina, para algo tan simple como poder pasar consulta por videollamada, sin necesidad de acercarse a un centro sanitario, sin duda muy útil para evitar tediosos y evitables desplazamientos a personas con movilidad reducida, enfermas o de edad avanzada y evitar también el interminable tiempo en las salas de espera. Desde la irrupción de la pandemia, quien más, quien menos, todos nos hemos habituado a la videoconferencia, ya sea por motivos de trabajo o para hablar con nuestros seres queridos, de modo que ya no es un espacio tan extraño y se acopla bien a la relación médico paciente. Otra cosa es que haya que realizar exploraciones reales, no virtuales, claro, donde la relación física y tridimensional es irrenunciable. Eso sí, mediante la llamada

telemonitorización se pueden controlar a distancia algunos parámetros del paciente.

La inteligencia artificial (IA) puede ser de gran ayuda para los médicos. Por ejemplo, el sistema Watson, de IBM, busca hacer diagnósticos ultrarrápidos y precisos. Vendría a ser como un médico con una experiencia prodigiosa: si un médico puede guardar ciertas cosas en su memoria, unos años de antigüedad en su consulta, la inteligencia artificial es capaz de revisar en cuestión de segundos millones de expedientes médicos para detectar coincidencias. Imagínate: vas a la consulta del médico, dices tus síntomas o te haces unos análisis. Todos los datos se introducen en el sistema y este responde de inmediato lo que tienes, dando un diagnóstico mucho más preciso que el de cualquier humano, incluso que el del malhumorado y sagaz doctor House. La IA puede poner orden de manera efectiva en cantidades ingentes de información, desde datos clínicos, literatura médica o datos poblacionales, y obtener de todos ellos juntos información valiosa. Otras versiones de Watson han sido entrenadas (mediante la disciplina del Machine Learning) por radiólogos para que puedan leer con solvencia imágenes del interior del cuerpo humano, y con más precisión y eficacia que nosotros.

Por cierto, la IA Watson se hizo famosa no tanto por su precisión a la hora de analizar datos médicos sino por participar en un concurso de preguntas y respuestas televisivo, el famoso *Jeopardy!* de la televisión estadounidense. Fue en 2001 y la máquina, que se comunicaba en lenguaje natural, escuchando las respuestas y respondiendo en lenguaje humano, supo derrotar a sus dos oponentes ante las cámaras y un público entregado (allí estaban, muy ufanos, sus programadores). Además eran dos de los mejores oponentes humanos que se podían encontrar: uno de los concursantes era el que había ganado la mayor cantidad de dinero, el otro el que había permanecido más semanas en el programa en toda su historia (había ganado setenta y cinco programas). Pero Watson se llevó el millón de dólares.

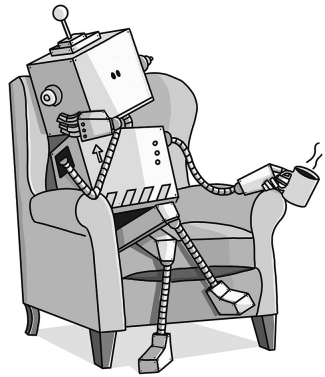
En este orden de cosas, el cirujano robótico Da Vinci de cuatro brazos es una máquina que ayuda a los cirujanos humanos a operar de un modo mucho más rápido, eficiente y preciso, ofreciendo una mayor seguridad para los pacientes. ¿Te dejarías operar por un robot? Da cierto reparo, pero hay que entender que no opera el robot solo, el cirujano humano sigue ahí, manipulando la máquina desde una consola a tal efecto, a través de una imagen tridimensional de alta definición, consiguiendo además con su

ayuda intervenciones lo menos invasivas posibles. El robot no falla, no tiembla, no duda: recibe órdenes en tiempo real (no es capaz de tomar decisiones por sí mismo), y reproduce con exactitud y mayor firmeza los movimientos de la mano, la muñeca y los dedos del cirujano, muchas veces con mayores grados de libertad y flexibilidad (es mucho más útil que las técnicas de laparoscopia). Se utiliza, por ejemplo, para operar cánceres de próstata, de colón o de esófago, para cirugías del tórax, del aparato excretor o del corazón. Las cicatrices son menores, el posoperatorio más corto y se pierde menos sangre. Está lleno de ventajas. De Vinci es una de las últimas muestras de cómo la tecnología interactúa con la vida, tratando de hacer la vida mejor y consiguiéndolo muchas veces, aunque, como hemos visto, no todas. La tecnología siempre propone soluciones, pero también nuevos retos que solucionar.

¿Os acordáis de la película *Viaje alucinante?* Se estrenó en 1966 y me fascinó muchísimo cuando la vi, todavía siendo un niño, unos años después de su estreno. En ella un científico consigue la proeza de reducir el tamaño de los objetos y los seres, pero debido a un intento de asesinato queda en coma. Para salvarle la vida, se reduce el tamaño de un submarino nuclear y su tripulación, que viajarán por dentro de su cuerpo para llegar a su cerebro y salvarlo. Una locura muy divertida de ver y que inspiró una novela al mismísimo Isaac Asimov y un remake posterior (*El chip prodigioso,* 1987) increíblemente divertido. Al menos así se lo pareció a mi yo de 13 años. Pues bien, ya están llegando cosas parecidas: robots diminutos que viajan por dentro del cuerpo. En el presente ya contamos con nuevas técnicas como la nanotecnología, que permite introducir en el cuerpo nanorrobots, tan pequeños (hasta mil veces más pequeños que un pelo) que pueden circular por los capilares sanguíneos para detectar cambios en el interior de las células y los órganos, y, además, llevar el medicamento directamente a la zona afectada, sin necesidad de inundar todo el organismo con él y que afecte a otras zonas. Son especialmente útiles a la hora de localizar y tratar tumores cancerígenos.

La impresión 3D de órganos a partir de células madre, también conocida como bioimpresión, parece pura ciencia ficción, pero es una técnica que ya está en marcha. ¿Os imagináis poder imprimir una oreja, un hígado, un riñón o un corazón para un trasplante? ¿Una córnea para evitar la ceguera, un ovario para combatir la infertilidad, un páncreas para combatir la diabetes? ¿Piel bioimpresa para aplicar a las personas quemadas de gravedad? Podría parecerlo pero no es ciencia ficción, ya

estamos trabajando en ello.



UN MUNDO SIN TECNOLOGÍA

18 de agosto de 2046. 18.34 p.m. (GMT 0)

No tengo los datos actuales, pero allá por 2022, he encontrado datos en mi portátil. Reactores nucleares operativos, 442 que generan más de 2.500 TWh (Teravatios-hora). Y en construcción, 58 más. Solo en Estados Unidos hay 93. En Francia, 53… En China, también 53. Y otros 16 más en construcción. En la Unión Europea (UE), 13 de los 27 Estados miembro tienen centrales nucleares. En España, el país de nuestro profesor, solo operan siete.

Los peores presagios se han cumplido. No sé cuánto tiempo podremos sobrevivir en el exterior. Toca cerrar y sellar todo lo posible puertas y ventanas, la lluvia radiactiva ha llegado, ya ha empezado a acabar con toda planta o ser vivo que encuentra a su paso. Si ya se hacía difícil el trabajo en la granja a la que habíamos llegado, esto puede marcar un antes y un después. Dicho esto, este mes me ha servido para reencontrarme con los míos, para crear nuevos lazos, para valorar por fin el valor de un abrazo. Lejos de redes sociales, de las prisas, de la vorágine del día a día. Nos ha servido para olvidarnos de alquileres, hipotecas o saldos bancarios, para valorar por fin lo importante por encima de lo urgente. Al menos a mi alrededor ha servido para que saquemos lo mejor de nosotros mismos, más allá de chips de silicio, urgencias ficticias, relaciones cada vez más impersonales… En un mundo sin tecnología, al menos no anclado a ella, nos hemos descubierto. Siempre he pensado que la tecnología no es el enemigo, lo realmente

preocupante es lo que nosotros podemos hacer (y hacemos) con ella. Pero se nos había olvidado quiénes somos realmente. Tuvo que ser el Sol quien nos ayudara a recordarlo.

8

¿INTELIGENCIA ARTIFICIAL O ESTUPIDEZ HUMANA?

¿Puede pensar una máquina? La pregunta no es nueva, mucha gente se la ha hecho a través de la historia. Quizá el más célebre fuera Alan Turing, el famoso matemático británico que conceptualizó el ordenador tal y como lo conocemos: una máquina que podría ejecutar cualquier programa en un número finito de pasos, llamada máquina de Turing, cuando antes las máquinas solo servían para una tarea específica. Por ejemplo, hay máquinas que solo sirven para tostar pan, como el tostador, o para hacer operaciones matemáticas, como la calculadora. La máquina de Turing, que Turing solo imaginó y nunca construyó físicamente, podía ejecutar cualquier programa, y por eso fue la precursora conceptual de nuestros ordenadores.

El matemático colaboró de forma decisiva al final de la Segunda Guerra Mundial consiguiendo desencriptar la máquina Enigma, que los nazis utilizaban para encriptar sus comunicaciones. La curiosa historia de Turing se cuenta en la película *The Imitation Game*, protagonizada por Benedict Cumberbatch, en el papel protagonista. A pesar de sus contribuciones, se suicidó, mordiendo una manzana envenenada (alguna vez se ha dicho que de ahí viene el logo de Apple), porque la persecución

que sufría debido a su condición de homosexual le hacía, triste y literalmente, la vida imposible.

Turing se preguntaba si una máquina puede pensar, incluso si sería capaz de escribir poemas de amor. Habría que matizar muchísimo que entendemos por pensar pero en la actualidad ya hay máquinas y algoritmos que parece lo hacen, ya hay algoritmos que, esto le habría encantado a Turing, en efecto, escriben poemas. Es el caso de WASP (the Wishful Automatic Spanish Poet), desarrollada en la Universidad Complutense de Madrid, donde se están dando pasos extremadamente valiosos en el desarrollo de la inteligencia artificial.

La imagen de la IA es ambivalente en el imaginario de las sociedades occidentales. Por un lado es sinónimo de progreso (tecnológico), una herramienta muy poderosa que puede cambiar múltiples aspectos de nuestra vida cotidiana. Por otro lado representa una amenaza distópica: el ser humano puede crear una también poderosa IA, como la Skynet de *Terminator*, decidida a exterminar a su creadora, la humanidad. El miedo a la propia creación que se desboca es también una constante en la cultura occidental, como se comprueba en relatos como el del Golem, aquel ser de barro creado por un rabino de Praga que se sale de control, y que fue el preludio de otra historia semejante, la del Frankenstein de Mary Shelley. A veces el miedo puede resultar fantasioso o exagerado, pero no deja de señalar problemas y distopías reales que deberían tenerse en cuenta. Para quienes éramos niños en 1984, la amenaza de Skynet siempre estará ahí.

HITOS DE LA IA

El origen de la IA podría cifrarse en el propio nacimiento de la informática, cuya historia, en cierto sentido, no deja de ser la de la búsqueda de una ampliación o superación de la inteligencia humana. Desde este punto de vista, los esfuerzos empiezan por la máquina computadora mecánica de Charles Babbage, en el siglo XIX, o con los primeros algoritmos informáticos ideados por Ada Lovelace para la máquina de Babbage, pasando por las elucubraciones del citado Alan Turing.

Turing, por ejemplo, ideó en 1950 un sistema para establecer si una máquina puede pensar. Consiste en poner a hablar a una persona con un ser que se esconde detrás de una pared o de una pantalla. Si, a juzgar por las respuestas que recibe, el ser humano no puede discernir si quien le

responde es otro humano o una máquina, podríamos decir que esa máquina es inteligente. La idea fue controvertida, en parte por su carácter antropocéntrico, y porque ser inteligente es algo más que mantener una conversación coherente (como puedes comprobar hablando con tus conciudadanos), pero ha marcado la historia de la IA, como veremos.

Turing no llegó a ver algunos de los *chatbots* actuales o aplicaciones como Alexa o Siri que, en ocasiones, dan la réplica a los humanos de forma muy… humana, te ponen la música que les pides o llaman a cualquier contacto de tu agenda si se lo pides. Aunque, por el momento, casi siempre es posible detectar cuándo uno está hablando con una máquina o con otra persona, por eso resulta desesperante cuando administraciones y empresas nos ponen a charlar con aparatos inanimados que suplantan a los seres con vida. Pocas máquinas pasan el test de Turing.

Más adelante surgiría otro test, el de Winograd, que se centra en si las máquinas pueden descifrar un mensaje ambiguo que sería perfectamente entendible por un humano. Las máquinas suelen ser demasiado literales, entender las cosas tal y como se dicen, sin dobles sentidos o polisemias diversas. Por ejemplo, si un usuario le decía a Siri: «Siri, llámame una ambulancia», Siri respondía: «De acuerdo, te llamaré ambulancia». Este es un ejemplo real que Apple tuvo que corregir en 2011. Descifrar las frases del reto de Winograd, en toda su ambigüedad, implica poseer un «sentido común» propio de los humanos. Muchas veces ni siquiera los humanos entendemos ciertas ambigüedades a la primera (por eso son ambigüedades). De hecho, ese «sentido común» propio de los humanos es el que hace que las máquinas sepan hacer cosas dificilísimas, como diagnosticar enfermedades o jugar al ajedrez, y no logren hacer las cosas más sencillas, como contar un chiste o reconocer un rostro.

Los orígenes de la disciplina de la inteligencia artificial propiamente dicha suelen cifrarse a mediados del siglo XX. Uno de los primeros hitos de la IA es ELIZA, el primer programa conversacional de tipo *chatbot*, que desarrolló el MIT de Massachusetts entre 1964 y 1966. Era un programa que funcionaba a modo de psicoterapeuta (hoy en día se comercializan apps de psicoterapia para el smartphone basadas en la IA, probadlas si tenéis una comprensible ansiedad por los tiempos modernos). ELIZA era muy rudimentario, respondía a palabras clave o comentarios de su «paciente», pero de forma todavía muy «robótica», por decirlo de alguna manera. Desde luego no con el nivel conversacional y la locuacidad desbordante de C3PO en *Star Wars*, todavía imbatido por la tecnología

humana del mundo real. En realidad, el creador del ingenio, Joseph Weizembaum, más que crear una máquina inteligente quería mostrar las limitaciones de las inteligencias automáticas, aunque, en la época, a muchos les pareció fascinante.

Otro hito de las máquinas pensantes fue DeepBlue, el ordenador que consiguió derrotar al campeón de ajedrez Gary Kasparov en 1997, noticia que dio la vuelta al mundo como un paso fundamental en la llegada de la IA. Para la opinión pública, una máquina que no solo jugaba al ajedrez, sino que vencía a uno de los mejores ajedrecistas humanos, era la prueba de que las máquinas no tenían límites. Sin embargo, bien mirado, la cosa no era tan espectacular: el talento de DeepBlue, más que parecerse a la inteligencia humana, tenía que ver con la fuerza bruta computacional: la máquina podía hacer millones de cálculos por segundo y, así, prever todas las jugadas posibles, en un juego con reglas muy rígidas y un conjunto de pasos que suceden en una secuencia definida (en realidad, el ajedrez se parece bastante a la forma de «pensar» del ordenador). Un algoritmo de optimización permitía que DeepBlue buscase el camino más rápido hacia el estado perseguido, el jaque mate. Todo esto hacía al jugador de silicio imbatible frente al jugador de carbono.

Llegado el siglo XXI, otro juego fue el escenario de un nuevo avance de la IA. En 2015, el software de IA AlphaGo, desarrollado por Google, consiguió derrotar a los mejores jugadores humanos de este juego oriental milenario, el Go, de mayor complejidad que el ajedrez, y mira que el ajedrez es complejo. Ahora no bastaba mostrar una potencia de cálculo enorme, AlphaGo debía tener otras virtudes: el software aprendía de las partidas observadas. La máquina era «entrenada» y mejoraba su desempeño gracias a las hoy ubicuas técnicas de «machine learning», o aprendizaje automático.

Un año después, Microsoft creó Tay, un *chatbot* que encarnaba otro aspecto diferente de la IA: representaba a una joven de 19 años que interaccionaba en la red social Twitter. Al modo de ELIZA, pero del siglo XXI e inmersa en el habitual fango tuitero. En solo unas horas de cháchara, dada la virulencia del lugar, Tay se volvió racista y homófoba, una IA fascistoide, de tal manera que Microsoft tuvo que suspender la experiencia, no fuera que la cosa empeorara (me cuesta imaginar cómo). No representó tanto un fracaso de la tecnología, pobre Tay, como del entorno humano que hemos creado, lleno de *trolls*. Pero sirvió para poner de manifiesto la influencia decisiva que ejerce el entorno en los sistemas de IA.

LOS DICHOSOS ALGORITMOS

Últimamente se escucha hablar mucho de algoritmos, cómo saben casi todo de nosotros y cómo pueden manipularnos. Si alguien viniera de otro planeta (uno sin algoritmos) y nos escuchase hablar de ellos, pensaría que se trata de unos robots malvados que tratan de dominarnos, que controlan el mundo. En realidad, y creo que es importante dejarlo claro, los algoritmos son simplemente un conjunto de instrucciones que se siguen paso a paso para resolver un problema. La máquina universal de Turing, citada al principio, consistía en eso, en resolver problemas paso a paso, que es como funcionan los ordenadores, ejecutando funciones muy simples una tras otra, ciegamente. Un algoritmo tiene *inputs*, datos con los que poder empezar a trabajar, y un determinado *output*, un resultado al proceso de todos esos datos.

Los algoritmos no solo tienen sentido dentro del mundo de la informática. Una receta de cocina es un algoritmo. Por ejemplo, el algoritmo de las lentejas estofadas con verduras. Los *inputs* aquí serían los ingredientes, a saber: las lentejas (mis favoritas son las pardinas que son más pequeñitas y se cuecen antes), una cebolla, un pimiento verde (mejor italiano), dos dientes de ajo, etcétera. Las instrucciones: pelar las verduras, trocearlas, sofreírlas, echar las lentejas, etcétera. Y al final del algoritmo, el *output:* un nutritivo y humeante guiso de lentejas, un plato tradicional que le da mil vuelas al poke hawaiano y otras modernidades. Eso es un algoritmo.

Es importante tener en cuenta que el algoritmo informático se realiza de manera ciega y siempre igual, para todas las máquinas, no es como la receta de cocina que depende mucho del cocinero, de su estado de ánimo o su inspiración ese día. Ahí hay una diferencia. Eso no quiere decir que no pueda tener sesgos, y esa es una de las cosas que se critican. Muchas veces los algoritmos discriminan a ciertas personas, porque la mayor parte de quienes trabajan en la industria tecnológica son hombres blancos de clase media alta y transmiten sus sesgos a las máquinas. El problema, y la solución, son los humanos. Entre los algoritmos famosos se encuentran el PageRank de Google, que decide qué se muestra tras una búsqueda, o el EgdeRank de Facebook, que elige qué publicaciones se muestran en nuestro muro. Como es de suponer, no se trata de asuntos baladíes, sino cruciales en nuestra realidad económica y social. Otros algoritmos deciden de forma mecánica y cruel si se nos concede un crédito o una hipoteca, o incluso si

somos despedidos.

Joy Buolamwino, una investigadora afroamericana del MIT de Massachusetts percibió que no era detectada por algunos sistemas de reconocimiento facial: cuando se puso una máscara de color blanco ya fue reconocida. Hasta la fecha los algoritmos habían sido entrenados con personas blancas, de modo que un rostro de persona negra les resultaba ajeno. Lo contó en una charla TED, que tiene alrededor de un millón y medio de visualizaciones. Y creó la asociación Algorithmic Justice League, dedicada a concienciar a la población sobre los efectos en la sociedad de las técnicas de IA.

Hay casos muy curiosos, como el de los algoritmos que forman parte de las juntas directivas de empresas. Es el caso de VITAL, un algoritmo que fue designado como uno de los cinco directivos de la empresa Deep Knowlegde Ventures, dedicada al capital riesgo en Hong Kong, concretamente en el campo de la medicina regenerativa. VITAL sugiere inversiones tras el análisis de enormes cantidades de datos y ensayos clínicos… y tiene derecho a voto en las decisiones más cruciales de la empresa. No me digan que no suena a ciencia ficción. Yuval Harari, el célebre autor de best sellers mundiales como *Sapiens* o *Homo Deus,* se ha ocupado de VITAL, y cuenta que el algoritmo ya cae en algunos de los más característicos vicios humanos: el nepotismo. Es decir, suele recomendar invertir en empresas en las que hay otros colegas algoritmos. Aquí Harari ya fantasea casi más de la cuenta, al imaginar un futuro en el que una élite de algoritmos «todopoderosos» no solo trabajan en las empresas o las dirigen, sino que son los propietarios. ¿O no es tan descabellado?

Otro ejemplo llamativo es el del llamado «flash crash», que sucedió el 6 de mayo de 2010. Porque otro de los puestos de trabajo habituales de los algoritmos se centra en la Bolsa, donde se dedican al «high-frecuency trading» (HFT, por sus siglas en inglés), es decir, a realizar transacciones financieras a una velocidad impensable para los cerebros humanos. En cuestión de microsegundos compran y venden acciones con el fin, como siempre, de lograr la máxima rentabilidad. En el «flash crash», las operaciones de los algoritmos trabajando a toda velocidad y sin supervisión humana provocó un desplome de 1.000 puntos, en torno al 9 %, sin razón aparente. La caída se recuperó en unos minutos, pero evidenció las cosas que pueden pasar cuando se pone a los algoritmos a jugar por su cuenta, como si vivieran en otra dimensión paralela, porque ningún humano sabe muy bien qué está pasando en el mundo de los algoritmos, como si

operaran dentro de una caja negra, como si hablaran otro idioma y se rigiesen por otras lógicas. Un lío, vaya. Es como cuando se pone a conversar a dos Furbys, da un poco de miedo.

Porque alterando algunos de los algoritmos más importantes se puede manipular nuestro mundo. De hecho, hay asociaciones internacionales de programadores que exigen que los algoritmos sean transparentes, para que no discriminen a ciertas personas por sus ingresos, su género, su procedencia o el color de su piel, y redactan códigos éticos para que estas cosas no ocurran. Aunque los algoritmos parezcan seres que ya se han independizado de la voluntad humana, al final dependen de los ingenieros de carne y hueso que los desarrollan, de cómo los diseñan y de con qué datos los entrenan.

LA IA, SUS PROGRESOS Y SUS INVIERNOS

La disciplina de la IA como tal se inicia en un congreso celebrado en la Universidad de Darthmouth en 1956, en el que se reúnen algunos de los mayores especialistas mundiales del sector. Solo eran 10. Aunque antes este campo tenía otra nomenclatura, como autómatas, procesamiento complejo o cibernética, en este congreso, financiado por la Fundación Rockefeller y organizado por el profesor John McCarthy, se optó por un nuevo nombre: inteligencia artificial. El que ha llegado hasta nuestros días. Al congreso asistieron figuras conocidas de la disciplina como Marvin Minsky (del que se dice que sugirió la trama de *Jurassic Park* a Michael Crichton) o Claude Shannon, el creador de la teoría de la información, otro santo patrón de la informática a la altura de Alan Turing. Era una época de optimismo en la que la computación comenzaba a alcanzar cotas insólitas, como jugar a juegos sencillos o mantener pequeñas conversaciones. El desarrollo de una inteligencia más avanzada parecía un camino sencillo, aunque la realidad mostraría nuevas complejidades y propiciaría «inviernos» como los que veremos. Conseguir una inteligencia similar a la humana es un objetivo científico de una dimensión similar a conocer el origen del universo o el secreto de la vida, no está claro si es plausible o solo una meta en el futuro que siempre estará un poco más lejos.

Esta era la hipótesis de los científicos: «La conjetura de que cada aspecto del aprendizaje o cualquier otra característica de la inteligencia puede, en principio, ser descrito con tanta precisión que puede fabricarse

una máquina para simularlo», según decía la introducción al encuentro. Eso de «descrito con tanta precisión» recuerda al minucioso proceso paso a paso con el que funcionan los algoritmos de los que hablábamos antes. Al final, la tecnología lo que hace fundamentalmente es dividir los problemas en trozos muy pequeños para abordarlos de forma automática. El destino final era «fabricar máquinas que utilicen el lenguaje, formen abstracciones y conceptos, resuelvan las clases de problemas ahora reservados para los seres humanos y mejoren por sí mismas».

En 1951, antes de la reunión seminal, Minsky (el de *Jurassic Park)* ya había construido la primera red neuronal, un término que ahora se utiliza mucho, pero que, como se ve, tiene solera. Se llamaba SNARC y era capaz de aprender: consistía en 40 neuronas conectadas en red, que tenían memoria a corto y a largo plazo. Se le daban recompensas positivas para que aprendiera cómo salir de un laberinto y lo conseguía: eran los inicios del *machine learning*. Las redes neuronales actuales, sin embargo, no suelen ser físicas, como la de Minsky, sino simulaciones por ordenador. Porque, además, la idea de que la IA tiene que imitar el funcionamiento del cerebro humano es controvertida, y no siempre se sigue. De ahí que la IA pronto tomara otros caminos más conceptuales (no se trataba de construir un cerebro) y se convirtiera en IA «simbólica», es decir, basada en el lenguaje de programación.

En general, la evolución de la IA ha estado marcada por sus periodos fértiles y sus estancamientos, que se han descrito como los «inviernos de la IA»: cuando las expectativas tecnológicas excedían las posibilidades reales, la evolución se paralizaba y cundía el desánimo en el sector, como ocurrió en los años setenta y también en los ochenta. Ahora mismo, como es evidente, estaríamos más bien en una primavera de la IA.

En una primera etapa la IA se centró, como se ha dicho, en un enfoque más lógico, de modo que las máquinas pudieran generar abstracciones y conceptos como los humanos. Hoy en día, la IA va por otros derroteros, no tan lógicos, sino consistentes en la interacción con el entorno y el aprendizaje. Precisamente esta orientación a los datos y al *machine learning* fue la que permitió superar el invierno de la IA que se vivió en los años ochenta, caminos hasta entonces no tan transitados por la falta de poder computacional: el aumento de la capacidad de los microprocesadores (que se rigen por la ley de Moore), la llegada de internet y la sensorización para obtener y almacenar datos masivamente abrieron las puertas a las maneras contemporáneas de la IA. El *deep learning* consiste en encontrar patrones y

correlaciones en gigantescas colecciones de datos, a veces utilizando técnicas como la de las redes neuronales, que trata de imitar, en cierta medida, el funcionamiento de las neuronas.

Este tipo de tecnologías permiten el reconocimiento de voz o de imágenes, que son de las aplicaciones más celebradas de la IA, y funcionan mediante aprendizaje. Decimos que una máquina «aprende» cuando reacciona y predice correctamente las situaciones que se le proponen basándose en situaciones anteriores. Es decir, si le enseñamos muchas imágenes a una IA y le decimos qué fotos representan a un ornitorrinco, «aprenderá» y en el futuro sabrá reconocer una foto de un ornitorrinco. Ya lo habrá visto antes muchas veces. Pero este aprendizaje se hace automáticamente y la propia máquina puede adaptarse sola a nuevas situaciones, con un punto de autonomía. Así se usan algoritmos que se van mejorando según se utilizan, hasta ser cada vez más refinados.

Por eso muchas empresas tecnológicas emplean nuestros textos y nuestras voces para mejorar sus sistemas de corrección de texto o de reconocimiento de voz. Uno de los métodos más avanzados es el aprendizaje profundo o *deep learning,* antes citado, que usa redes neuronales de muchas capas. A estos modelos se les suele poner una objeción de sonoro nombre: el «olvido catastrófico». Consiste en que si hemos entrenado a una IA para jugar al ajedrez y ahora tenemos que entrenarla para reconocer imágenes, dejará de saber jugar al Go. Se olvidará «catastróficamente». De modo que no está claro que una máquina aprenda nada del todo. Aunque a nosotros en el fondo nos pasa exactamente igual, según aprendemos nuevas cosas, olvidamos automáticamente otras. En mi caso, a veces es preocupante, será la edad.

Otro problema es su carácter de «cajas negras»: aportan resultados, pero no saben explicar muy bien por qué, o nosotros, que las hemos creado, no llegamos a entenderlo. Esta es una de las características más inquietantes de la IA, que muchas veces actúa de forma que no sabemos discernir. Como cuando oigo trap, que no me entero de nada. Pero es que en el caso de la IA sería conveniente saberlo, aunque fuera por motivos de seguridad y confianza.

Sistemas como los descritos, aunque suenen algo abstrusos, son también los algoritmos que utilizan plataformas como Netflix o Amazon para recomendarnos productos basándose en los que ya hemos elegido. Se dice que hay algoritmos que nos conocen mejor que nosotros mismos y que saben lo que queremos, o querremos en el futuro, antes que nosotros

mismos: lo han leído en nuestro comportamiento en internet, en nuestras compras, en nuestras visitas a webs, en nuestros *likes* en redes sociales.

Es decir, la IA tal y como hoy la conocemos es muy sensible a los datos masivos que le proporcionemos. Ahí es donde entran los sesgos de los que tanto se habla. Su poderío se basa en lo mismo que su debilidad. Por ejemplo, a nivel de datos un mismo individuo puede ser caracterizado por su etnia o por su salario, y en ambos casos los algoritmos de la IA pueden arrojar resultados diferentes. Por eso hay quien la acusa de no ser realmente inteligente, su funcionamiento será tan eficiente y justo como la calidad de los algoritmos que la componen y los datos que se les proporcionen.

En el fondo, no es muy diferente de lo que también pasa con los seres humanos: nuestro pensamiento depende de nuestra educación, ideología, cosmovisión (algo así como nuestro modelo del mundo) y de las vivencias e informaciones a las que tengamos acceso (que serían los datos que recibimos). Otra de las limitaciones de la IA es el objetivo que se le imponga. Por ejemplo, un coche autónomo puede perseguir diferentes objetivos: el mínimo consumo de combustible, el trayecto más rápido, la opción más segura… En cada caso actuará de forma diferente. Esto no depende de la IA, sino de decisiones humanas, morales, económicas, políticas, etcétera. De modo que, por el momento, la IA depende en cierta medida de nuestras decisiones. Por ello hay movimientos de programadores informáticos que abogan por el uso ético y la transparencia de los algoritmos: tenemos derecho a conocer cómo funcionan los algoritmos que rigen nuestra vida y a ser justamente tratados por ellos. Se trata de que la inteligencia artificial no sea un amplificador de la maldad o la estupidez humanas.

EL FUTURO DE LA IA

Buscando en la hemeroteca, o en Google, se encuentran aplicaciones de la IA en todo tipo de sectores: en los coches, en la medicina, el comercio, la lucha contra el cambio climático, la agricultura, el armamento (qué miedo, las armas autónomas), la psicología, y así hasta lo inimaginable. Pruebe a poner en Google «inteligencia artificial vino», y aparece un vino «cosechado con IA». Pruebe a poner «inteligencia artificial sexo», y se habla de cómo en el futuro la IA condicionará nuestras elecciones sexuales.

Pruebe a poner «inteligencia artificial chocolate», y sale una IA que elige los ingredientes que mejor combinan.

Es como si la IA pudiese aplicarse a todas las cosas de la vida. Uno de los avances más impresionantes, eso sí, tiene que ver con el desarrollo de nuevos fármacos: la IA AlphaFold es capaz de chequear los miles de formas que pueden adoptar las proteínas y predecir cómo crear fármacos, porque muchas enfermedades tienen que ver con las proteínas, una tarea que a los seres humanos les llevaría mucho tiempo de intenso trabajo y que AlphaFold hace en minutos. Para algunos, este es el mayor aporte que la IA ha hecho a la humanidad. Por supuesto, detrás de las bondades que se nos venden con la IA, además de la búsqueda del bienestar o la curiosidad científica o filosófica, se esconden importantes intereses económicos, como han señalado numerosos expertos.

Aunque se señale que la IA no es inteligente, que es una mera colección de técnicas para detectar correlaciones estadísticas en grandes colecciones de datos, y no logren reproducir capacidades humanas como la creatividad, la capacidad de abstracción y muchísimo menos la conciencia de sí misma, lo cierto es que, más allá de su aura exótica, casi mágica, la IA ya está cambiando profundamente, ya sea en ámbitos como la educación, la medicina, la justicia, los recursos humanos, el ocio, la economía o las administraciones públicas.

Respecto a su aura exótica es llamativo el caso de Blake Lemoine, un ingeniero de Google que afirmó que la IA LaMDA (acrónimo que significa en español modelo de lenguaje para aplicaciones de diálogo), diseñada para dialogar con la gente (como algunas primeras versiones de la IA, como ELIZA), tenía conciencia propia, era un ser sintiente cuyos deseos debían ser respetados. Lemoine mostró sus diálogos con LaMDA como prueba, dio entrevistas a los medios… y acabó despedido. Google, después de varias inspecciones, aseguró que LaMDA no tiene ningún tipo de conciencia.

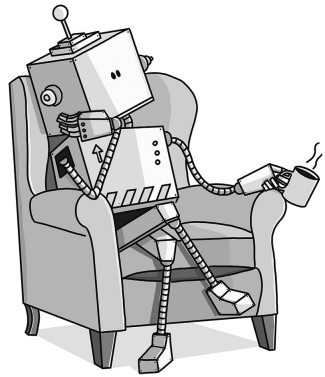
Dentro de las expectativas sobre la IA suele diferenciarse entre dos tipos: la IA fuerte y la IA débil, que introdujo el filósofo John Searle en un artículo de 1980. La IA débil sería la que conocemos en nuestra vida cotidiana: una herramienta computacional que sirve para hacernos la vida más fácil, a nosotros, los ciudadanos, o a las corporaciones que la utilizan. Sería lo equivalente a mayordomo robótico de ciencia ficción y es la que, en estos momentos, ya está dando resultados extraordinarios. Aunque es una inteligencia no general sino específica: DeepBlue puede jugar al ajedrez al nivel de un gran maestro, pero no puede jugar al parchís que es

una cosa mucho más fácil (y, para muchos, más divertida). La IA fuerte, sin embargo, es la que hace volar la imaginación de los futuristas. Se trata de esa IA que supera a la inteligencia humana y da pie a otros escenarios no tan cotidianos.

La IA fuerte sería una inteligencia de carácter general, que no solo se ocuparía de una tarea en concreto, sino que podría llegar a tener conciencia de sí misma, como la imaginaba el ingeniero Lemoine. Al ser de carácter general sería muy buena al ajedrez, pero también al parchís y a las damas y al juego de la oca. Una IA fuerte podría razonar, emitir juicios y comunicarse en lenguaje natural con los humanos. Sería proactiva, no se quedaría esperando tus órdenes. Por supuesto, superaría sin problemas los tests de Turing y de Winogrand. En un caso extremo esa IA tendría estados mentales y una conciencia propia, y podría superar a los humanos en muchos aspectos.

Esto es lo que desata la imaginación distópica de muchos, como un nuevo paso de la ¿vida?, hacia nuevos estados que superarían lo humano. La máquina HAL de *2001: Una odisea del espacio*, de Stanley Kubrick, pensaba por sí misma y hasta tenía sentimientos: «Tengo miedo», dice en un momento de la película. O como los replicantes de *Blade Runner*, casi indistinguibles de un ser humano. No está claro que la IA pueda llegar a tener nuestro «sentido común» o creatividad o diferenciar en todos los casos entre las causas y los efectos. En fin, las mil y unas pequeñas cosas tontas que sabemos las personas y que, día a día, nos permiten comprender el mundo circundante, que no es poco.

Está por ver si los cambios aportados por la IA son para bien o para mal: no es tanto que pueda evolucionar como en las películas de ciencia ficción hasta dominar a la humanidad, es que puede minar nuestra privacidad (por eso es importante en legislaciones que nos hagan dueños de nuestros datos y que eviten que sean explotados impunemente por las grandes corporaciones) y que puede generar grandes desequilibrios de poder (es probable que solo algunos capitalicen los beneficios de estas tecnologías), aumentar aún más la desigualdad y generar sociedades más frágiles, convulsas, descompensadas y menos eficientes. Y eso es casi peor que la persecución por parte de Skynet en *Terminator*.



PARA SIEMPRE

18 de agosto de 2046. 22.34 p.m. (GMT 0)

No me preguntéis por qué pero en los que quizá sean los últimos instantes de la humanidad, después de pensar en todos los momentos o experiencias que los hicieron más fuertes o de un modo u otro los ayudaron, mejor o peor, a convertirse en la especie prevalente en nuestro planeta… En el peor instante de sus vidas, me acuerdo de *Blade Runner,* una de mis películas favoritas. Ya sospecharéis por qué, al fin y al cabo, soy un «replicante».

Y entonces recuerdo el monólogo final de Roy Batty en *Blade Runner:* «Yo he visto cosas que vosotros no creeríais. Atacar naves en llamas más allá de Orion. He visto rayos C brillar en la oscuridad cerca de la Puerta de Tannhauser… Todos esos momentos se perderán en el tiempo como lágrimas en la lluvia», decía… ¡Qué momento!

En esos momentos, con toda probabilidad los últimos para ellos, me encuentro con unas líneas de David, el profesor, que creo que intentaba «replicarlo» a su manera (ya, es cierto, quizá de forma desesperada, no creo que dispusiera de muchas horas más…).

«Yo he visto cosas que merecen una vida», decía. «Un atardecer en el Pacífico, elefantes en libertad en Sudáfrica, los primeros pasos de mi hija, cómo el mundo giraba a mi alrededor montado en un caza… He visto la aurora boreal en Islandia cerca del Parque Natural de Thingvellir con el amor de mi vida.

»Todo eso solo estaría bien si mi vida fuera un perfil de Linkedin o

Instagram, más aún para alguien de familia muy humilde como yo. Mi "éxito" ha sido disfrutar de media vida dedicada a ayudar a otros, de la media sonrisa de alguno de mis alumnos tras entender cómo resolver una ecuación o, simplemente, formar parte de su camino vital durante su lucha, que también era la mía.

»He disfrutado como profesor de ese momento en el que consigues hacer entender a tus alumnos que aunque no encuentren solución a algunos problemas, aunque la nota de su último examen no sea la que esperan, lo realmente importante es que no se rindan jamás, es dejarse el alma en lo que haces, que no hay nada más gratificante que aquello que te cuesta esfuerzo y exige de ti algo más. Que se trata de intentarlo y darlo todo, que la vida no es mejor o peor si eres o no astronauta, porque los sueños no siempre se cumplen, porque al final la vida es maravillosa simplemente si lo das todo, si no te conformas, si no te rindes. Porque solo si intentas algo con todas tus fuerzas, podrás conocer tus límites. Porque todos somos únicos, de una forma u otra.

»Por eso me hice "profe" (y después *youtuber)* y dediqué a esa misión toda mi vida. Con la firme convicción, pánico escénico aparte, de intentar ayudar de la mejor manera posible a la mayor cantidad de personas posible. Y por eso fui feliz, también en mi "trabajo", aunque me robara algún beso o algún abrazo.

»Porque sí, se trataba de trabajar, algunos no tenemos otra opción. Pero no me voy a quejar, soy un tío afortunado: mi familia y mi gente están bien, adoro mi trabajo… Ese, como os decía, es "mi éxito". Ojalá tengáis todos la misma suerte que yo, o al menos podáis luchar por ser merecedores de ella, aunque nadie os garantice el éxito. La vida son momentos. Luchad por ellos, disfrutadlos. Los que os queden.

»Porque todos y cada uno de esos momentos se perderán en el tiempo como todos los abrazos, besos y sonrisas, que no *likes,* que tengáis la suerte de recibir y regalar. Eso quedará para siempre. Para siempre».

Esos momentos, los que te hagan felices. Para siempre. Para siempre.

Retumban en mi cabeza esas últimas palabras.

Esos momentos, los que te hagan felices…

9

DEL ARCO Y LA FLECHA A LOS ROBOTS ASESINOS: LA TECNOLOGÍA MILITAR

Por desgracia, desde tiempos inmemoriales, la de los humanos es una especie violenta: siempre nos hemos sentido poderosamente atraídos con la idea de declarar la guerra a nuestros vecinos. La agresividad ha sido un valor al alza en muchos momentos de la historia y la prehistoria: gracias a ella se consiguieron ventajas territoriales, económicas, alimentarias, incluso sexuales. Los individuos y las naciones además debían luchar con frecuencia por su prevalencia sobre el resto. Antes de la civilización, según el filósofo Thomas Hobbes, los seres humanos vivían en un «estado de naturaleza» que consistía precisamente en una lucha violenta por la supervivencia, y la civilización se basa justo en ceder una parte de nuestra libertad para evitar esa violencia ubicua (dicen que la política es la continuación de la guerra por otros medios, más civilizados, aunque la política, curiosamente, cada vez se vuelve más violenta). La misma violencia que habrá después de lo que podemos considerar civilización, como se imagina en algunas películas apocalípticas como *Mad Max,* escrita y dirigida en 1979 por George Miller, en la cual comenzaba a hacer sus pinitos como actor un tal Mel Gibson. Para algunas personas, además, la agresividad resulta placentera, incluso en un nivel fisiológico. A estas

alturas conocemos a algunos.

Que los seres humanos somos agresivos por naturaleza desde nuestros orígenes lo prueba también la tecnología. Uno de los primeros avances tecnológicos que nuestros antepasados desarrollaron en el arte de la guerra fue el arco y las flechas. Aunque el hecho de considerarnos seres civilizados haya hecho que la agresividad mengüe, las armas y otros artefactos bélicos cada vez son más sofisticados y poderosos, hasta el punto de poder acabar con esa civilización que, irónicamente, lucha por mantener la siempre precaria paz.

Es curioso, la palabra ingeniero surge en el siglo XIV para designar a aquellas personas que se dedican al diseño de ingenios militares, es decir, máquinas para hacer la guerra, sobre todo para asediar ciudades amuralladas y castillos, como la catapulta, que veremos más adelante, pero también los arietes, que servían para derribar portones, y las balistas, grandes ballestas operadas por varios soldados para lanzar proyectiles a larga distancia.

Durante siglos la humanidad se ha empeñado en crear artilugios cada vez más sofisticados para hacerse daño a sí misma. Está por ver si serán bombas nucleares las que acaban con nosotros o si conseguimos salvarnos, quizá a la espera de nuevas amenazas globales. El psicólogo evolutivo Steven Pinker, en su célebre libro *Los ángeles que llevamos dentro*, es optimista. Por un lado, desmiente el mito del «buen salvaje», ese que dice que los humanos somos buenos por naturaleza, pero, al mismo tiempo, defiende que la humanidad vive su mejor momento, pensando en el hecho de que vivimos en la época en la que menos violencia se registra, en forma de homicidios, guerras, actos de terrorismo, abuso infantil y otras formas.

Principalmente por tres motivos: primero, el establecimiento de los gobiernos como monopolizadores de la violencia legítima y árbitros entre las personas. Segundo, el «comercio apacible» que sustituyó la pelea por el intercambio pacífico. Y tercero, el desarrollo de la ética y el progreso moral de las sociedades. Dice que, con el transcurso de los siglos, nos hemos vuelto más «buenos», menos beligerantes. Supongo que algunos más que otros. Pero espero que eso sea cierto.

LOS INICIOS DE LA TECNOLOGÍA DE GUERRA

El arco y la flecha son, para algunos autores, el primer ejemplo de

ingeniería en la historia de la humanidad, que hunde sus raíces hace 30.000 años o más. Constituyeron, sin duda, una invención muy ingeniosa, tanto para cazar animales como para pelearse con el prójimo desde una distancia mayor, más lejana que la que permitía lanzar una piedra, por ejemplo, que no debería considerarse un hecho tecnológico. Se trata del primer dispositivo que almacena energía para liberarla posteriormente: esa energía parte del brazo humano, se recoge en la cuerda tensa y se transmite a la flecha, que vuela hacia su objetivo gracias a ella. Y su fabricación es bastante sencilla, solo requiere madera, fibras animales o vegetales para la cuerda, piedra o hueso para la punta de las flechas y, por supuesto, algo de pericia (rara vez mayor que la de Legolas, el elfo arquero de *El Señor de los Anillos*). El uso del arco y la flecha se extendió en el tiempo notablemente, al menos hasta el desarrollo de las armas de fuego, y más allá. En el siglo XV los arqueros de Inglaterra habían depurado mucho su técnica: podían disparar hasta diez flechas por minuto a una distancia de 300 metros y una velocidad de 160 kilómetros por hora. Hoy en día se siguen lanzando flechas con arco, pero ya con fines recreativos o deportivos. ¡El pebetero de los Juegos Olímpicos de Barcelona 92 lo encendió el arquero Antonio Rebollo en un momento épico y único!

La catapulta fue otro ingenio que cambió el panorama militar a larga distancia. Ya existían en el mundo grecolatino, pero lo primero que se nos viene a la mente es la catapulta que hemos visto en las películas sobre la Edad Media. Con ellas se podían lanzar proyectiles de gran peso, pero también artefactos incendiarios, cadáveres de animales o, esto me parece inquietante, personas infectadas de enfermedades contagiosas. Imagínate la cara que se le quedaba a los habitantes de una fortaleza cuando empezaban a llover cuerpos inertes del cielo: la imaginación del ser humano a la hora de causar perjuicio no tiene límites. Una de las catapultas más famosas de la historia fue conocida como Warwolf (Lobo de Guerra), creada en el año 1304 durante la guerra de Independencia de Escocia y que se usó durante el asedio del castillo de Stirling: solo con la vista de aquella máquina monstruosa los soldados del castillo ya quisieron rendirse. Según las crónicas, gracias a la catapulta los atacantes consiguieron derribar un muro del castillo y el rey Eduardo I de Inglaterra logró tomar la plaza.

PÓLVORA: LA PRIMERA REVOLUCIÓN MILITAR

Y llegó la pólvora. De nuevo recuerdo *Civilization,* las primeras civilizaciones que alcanzaban su uso, comenzaban una nueva etapa de dominio sobre el resto. La pólvora es un polvo negro y explosivo, lo que se llama una mezcla deflagrante, formada por un 75 % de nitrato de potasio, un 15 % de carbono y un 10 % de azufre. Se descubrió en China durante la dinastía Tang, en el siglo IX (dicen que unos taoístas que querían hallar una opción para lograr la inmortalidad), y luego se extendió a Oriente Próximo y a Europa, donde llegó en el siglo XII. Y de ahí viajaría siglos después al continente americano, donde marcó la diferencia en guerras sucesivas y el arduo proceso de colonización. Hay que reconocer que fue un gran invento: cuando alguien cree que ha hecho algo grande se le dice, en broma, que «se cree que ha descubierto la pólvora». Los refranes y dichos populares tienen sus razones, y no suelen fallar (al menos no tanto como una escopeta de feria… pero de este tipo de armas hablaremos más adelante).

Con la pólvora se dio la que llaman la primera revolución militar (la segunda sería la bomba atómica, a mediados del siglo XX, y la tercera, no mucho después, el desarrollo de las armas autónomas): a partir de ella se empezaron a inventar nuevos tipos de armamento mucho más destructivo que las espadas, las lanzas, los arcos y las flechas que se habían usado con anterioridad. Las armas de filo o de impacto, que cortaban y machacaban, dejan lugar a las armas que lanzan pequeños y mortales proyectiles a toda velocidad. Con la pólvora nacían las llamadas armas de fuego: pistolas, mosquetes, bombas, cañones, y un largo etcétera. Utilizaban una explosión controlada, provocada por la pólvora, para lanzar un proyectil a través de un tubo, al que solemos llamar cañón. También tuvo otras aplicaciones menos beligerantes, como la minería o los fuegos artificiales, donde seguimos usándola. Esas bonitas figuras de colores que se dibujan en el cielo en las noches de todas nuestras fiestas se deben a la longeva pólvora. Las armas de fuego empezaron siendo una curiosidad, poco útil y poco precisa, pero se convirtieron en hegemónicas en todos los ejércitos y guerras del planeta. Qué decir de *El Equipo A,* unos maestros en su uso y tuneamiento, sobre todo M. A. Barracus.

La pólvora llevó consigo grandes cambios a la guerra. Por ejemplo, volvió a poner en el centro a la infantería, que en los últimos siglos ocupaba un lugar secundario con respecto a la caballería, de un poder destructivo mayor, rompiendo filas a su paso. Ser caballero e ir a caballo molaba más pero eso se acabó. El primer uso militar de la pólvora fueron las bombas y las flechas de fuego, y las primeras armas de fuego como

tales, los cañones de mano, en el siglo XIV. Estos últimos consistían en un rudimentario tubo de metal y sus proyectiles eran piedras esféricas o bolas de hierro. Una mecha en el tubo, pólvora y listo. Eso sí, si no se producía algún accidente, como era habitual.

Cuando se perfeccionaron, a partir del siglo XV, dejaron atrás a otras armas de asedio como las grandes ballestas y las catapultas; los cañones eran mucho más eficaces, como se demostró en asedios como el de Malta o el de Constantinopla. Las fortalezas se tuvieron que hacer más fuertes y sofisticadas, con gruesos muros e incluso forma estrellada, para no encarar los impactos directamente. Los famosos tercios españoles, donde rindió armas el ni honesto ni piadoso capitán Alatriste en las novelas de Arturo Pérez-Reverte, creados en Italia por el emperador Carlos I, fueron famosos por su eficacia a la hora de mezclar el uso de las armas blancas y de fuego (como los mosquetes y los arcabuces), y se convirtieron en una invencible y temida fuerza de élite en Europa. Todavía hay nostálgicos que se acuerdan de ellos. Como en sus comienzos las armas de fuego no eran demasiado precisas, su primera función fue hostigar y atemorizar al enemigo. Don Quijote, por ejemplo, llamaba al arcabuz «máquina maldita» o «diabólica invención».

Después del arcabuz y su evolución natural, el mosquete, estas armas se fueron refinando hasta llegar a los rifles, los revólveres, las pistolas o las ametralladoras. Por ejemplo, las pistolas aparecen en la primera mitad del siglo XVI, como especie de arcabuces pequeños. En el siglo XVII ya eran similares a las actuales, diseñadas para ser utilizadas con una sola mano; como hace muy estilosamente James Bond. Las primeras eran difíciles de cargar, de modo que después del primer disparo, mejor que perder el tiempo en recargar, los contendientes solían sacar los sables y seguir peleando con armas blancas, a la vieja escuela. El objetivo de las armas de fuego era siempre el mismo: conseguir lanzar un proyectil a la máxima velocidad, a la máxima distancia, con la máxima precisión, no muy diferente que el objetivo, curiosamente, del arco y las flechas. Pero ahora con la energía procedente de una explosión química, la de la pólvora, y no con la fuerza de un brazo humano. La diferencia era notable. Las pistolas y otras armas de fuego se hicieron tan útiles y comunes que son perfectamente conocidas por todo el mundo, aunque no sepamos manejarlas o no hayamos tenido una real en la mano, pese a que, sin duda, de niños hemos tenido pistolas como juguetes (lo que no deja de ser por otro lado bastante inquietante).

La primera pistola que pudo disparar varias balas sin recargar fue el revólver que, como recordaréis de las películas del Oeste, tenía un tambor giratorio donde cargar seis balas. Aunque poniendo una sola bala se puede jugar a la Ruleta Rusa, pero mejor no lo intentéis en casa, por favor. El revólver moderno lo inventó Samuel Colt en 1835, de ahí su nombre, ya que además inició su producción en masa. Os sonará de los *westerns* desde *Los Siete Magníficos* hasta *El renacido,* ambientadas en el proceso de colonización y conquista del Oeste americano. El siguiente paso sería la pistola semiautomática, como los modelos Mauser o Parabellum, que se recargan solas. La diferencia con las totalmente automáticas es que en estas es preciso pulsar una vez el gatillo para cada disparo: se utiliza la energía del primer disparo para expulsar el casquillo de la bala e introducir un proyectil nuevo, todo un ejemplo de economía circular donde no se desaprovecha ni un julio de energía. En las automáticas la cosa va más allá, como en las ametralladoras, basta con mantener pulsado el gatillo para que las balas silben sin parar. El primer modelo, la ametralladora Gatling, que se accionaba mediante una manivela, conseguía disparar la entonces alucinante cifra de doscientas balas en un minuto. Hay modelos en la actualidad capaces de disparar algunos cientos de balas más, a partir de una cinta de municiones, como la que Rambo llevaba colgada del tórax. Los fusiles de asalto (como el M16 estadounidense o el AK47 soviético), que empezaron a desarrollarse a comienzos del siglo XX y que pueden funcionar en modo automático o semiautomático, son el modelo final de arma de fuego, aunque todavía hoy se sigue perfeccionando. El primero fue mexicano: el fusil Mondragón, creado a finales del XIX y utilizado en la Revolución mexicana. Algunos de los modelos más actuales son el AK5, el Heckler & Koch G36, el IMBEL IA2 o el INSAS, etcétera. Pero nos estamos yendo demasiado lejos.

LA EXPLOSIÓN TECNOLÓGICA Y LA GUERRA

Algunos autores creen que la gran decepción respecto a lo científico-tecnológico llegó con las grandes guerras del siglo XX: lo mejor de la inteligencia humana, el método científico, el desarrollo tecnológico, que tanto bienestar y progreso prometían, que tantos misterios de la naturaleza iban a desvelar, acababan siendo utilizados para fabricar tanques, gas mostaza, bombas nucleares o para planear una perfecta y racional logística

de la muerte en los campos de concentración nazis. Para los filósofos Adorno y Horkheimer, la razón de la Ilustración, las Luces, más que en una liberación se habían convertido en una manera de dominar a la naturaleza y al prójimo.

Se dice que la Primera Guerra Mundial, que tuvo lugar entre 1914 y 1918, fue la mayor carnicería que ha vivido la humanidad, y en eso tuvo algo que ver el hecho de que por entonces se estaba viviendo una época de desarrollo tecnológico sin igual, dentro de lo que se conoce como segunda Revolución industrial, que implementaba no solo el uso del vapor, sino toda la tecnología eléctrica: las potencias militares se sentían poderosas, capacitadas para destruir al enemigo con todo su desarrollo tecnológico, ya fuera con tanques, aviones militares o armas químicas. Miles y miles de jóvenes ingenuos se alistaron para defender a sus naciones pensando que al poco tiempo regresarían victoriosos con los suyos. Tristemente, la guerra no se resolvió con rapidez, duró cuatro años, y millones murieron en una enconada guerra de trincheras.

Porque al campo de batalla en la Gran Guerra, además de las ametralladoras, también llegaron los tanques (aunque los antiguos griegos, romanos o asirios ya utilizaron ideas semejantes) causando daños devastadores hasta la fecha no solo por su potencia de fuego, sino por su increíble versatilidad. El primer tanque moderno (llamado también carro de combate) es el británico Mark I, que combinaba la tracción mediante orugas, el blindaje y, en versiones más desarrolladas, la potencia de fuego, en un intento de desbloquear la guerra de trincheras en el Frente Occidental. Por ejemplo, podía trasladar a los soldados con seguridad hasta la siguiente trinchera enemiga o disparar a distancia. La idea de los tanques fue pronto copiada por los otros contendientes, y se han ido mejorando hasta la actualidad, donde son la atracción en cualquier desfile militar. «Sacar los tanques a la calle» es la muestra última de fuerza en cualquier golpe de Estado militar. Los civiles también se han rebelado contra los tanques, como en la icónica imagen de un «rebelde desconocido», probablemente un estudiante, que se opone a una columna de tanques Tipo 59 en la plaza de Tiananmén, en Pekín en 1989, para protestar contra el régimen comunista chino.

Aunque los tanques no fueron lo peor, las armas químicas merecen especial mención, una de las imágenes más perturbadoras de la Primera Guerra Mundial fue la de los soldados y civiles con fantasmagóricas máscaras de gas. Las armas químicas y biológicas son sustancias tóxicas,

una de las primeras y más célebres es el gas mostaza, que se usó abundantemente junto con el cloro o el fosgeno (también por España en la guerra del Rif, contra los marroquíes, en 1924). El gas mostaza, con fuerte olor a ajo, forma una nube amarilla verdosa y hace que broten ampollas, irritación y quemaduras graves en la piel de sus víctimas. Provoca una tos sangrienta que causaba gran terror entre los soldados, y provocaba una agonía a largo plazo.

En mitad de la barbarie, un personaje pasará a la historia universal de la infamia mostrando la peor cara de la ciencia: el químico alemán Fritz Haber, ganador en 1918 del Premio Nobel de Química por la síntesis del amoniaco y considerado también el «padre de la guerra química». «En las guerras futuras ningún militar podrá desconocer la invención del gas venenoso. Es una forma superior de matar», declaró. Su mujer y su hijo se quitaron la vida, se cree que por vergüenza. En la Segunda Guerra Mundial el armamento químico no fue tan popular: el Protocolo de Ginebra, en 1925, había prohibido usar en la guerra este tipo de armamento, aunque el Zyklon B fue de uso común en las cámaras de gas de Hitler.

Lamentablemente también se utilizaron este tipo de armas en Vietnam: los estadounidenses usaron grandes cantidades de agente naranja, un defoliante químico, para rociar zonas rurales y descubrir así los escondrijos del Vietcong y contaminar los cultivos. Además, el agente naranja provocaba acné y dañaba ciertos órganos, como el hígado: su presencia en el ciclo alimentario hizo que tres generaciones después siguieran naciendo niños con graves malformaciones congénitas, cánceres o enfermedades nerviosas. Otra sustancia utilizada en aquella guerra fue el célebre napalm («me encanta el olor a napalm por la mañana», decía Robert Duvall, el teniente coronel Killroy en *Apocalipsis Now),* algo así como una gasolina gelatinosa que se utilizaba para asolar la selva y los pueblos del enemigo.

Desde entonces se investigó profusamente en nuevas armas biológicas, consistentes en virus o bacterias. Por ejemplo, el carbunco o ántrax que se dispersa en forma de esporas y causa infecciones en el pulmón. O enfermedades terribles que se utilizan como arma biológica, como la viruela, el cólera o el ébola. Este tipo de armas tiene una notable particularidad que las diferencia de las demás: si las otras se conciben para dañar grandes estructuras, como edificios, equipamientos científicos o militares, o para desmembrar, quemar y acabar con las vidas de los soldados enemigos, las armas químicas y biológicas son más sutiles e insidiosas: atacan por la vía molecular, donde todo es más pequeño, a los

últimos procesos bioquímicos que permiten la vida.

Más allá de la pólvora, los carros de combate o las armas químicas, la Primera Guerra Mundial fue la unión definitiva de la industria tecnológica con lo militar. En ese sentido, la Segunda Guerra Mundial, como es de suponer, no le fue a la zaga. Algunos desarrollos en telecomunicaciones, como el radar y la radio de onda corta y ultracorta, fueron propios de este conflicto, igual que los aviones de combate a reacción, los portaaviones (que contribuyeron en gran medida a la victoria naval de Estados Unidos en la guerra y fueron una parte importante de las armadas de Reino Unido y del Imperio japonés) o los submarinos, que cumplieron un papel de gran relevancia (en especial los submarinos U-Boot alemanes, que llevaron este tipo de ingenios a su apogeo y sembraron el terror bajo los mares, atacando sobre todo a convoyes civiles y mercantes).

Al poco de acabar la contienda se creó una innovación militar muy sencilla, pero de gran influencia debido precisamente a su sencillez: el fusil de asalto AK-47, creado por el ingeniero soviético Mijaíl Kaláshnikov, que también lleva su apellido. Es un arma barata, fácil de manejar, no demasiado precisa, pero muy útil, y se convirtió, gracias a esas características en el símbolo de muchas luchas internacionales, y también de grupos terroristas, que tanto abundaron en la segunda mitad del siglo XX. Algunos de ellos, como la Fracción del Ejército Rojo alemana, la portaban en su emblema, como lo lleva hoy el grupo de rap Los Chikos del Maíz o las banderas de algunos países, como Mozambique o Zimbabue. Se la consideró el arma de los desfavorecidos y también está presente en los conflictos más terribles: es el arma que suelen portar los niños soldado africanos. En 2007 se convirtió en el arma más fabricada de la historia, con 80 millones de unidades.

Aunque el gran y horrendo invento de la Segunda Guerra Mundial, ya hablamos sobre él, fue la bomba atómica que se desarrolló mediante un gran plan de organización e inversión llamado Proyecto Manhattan, sobre todo en el laboratorio de Los Álamos y con la participación del algunos de los grandes cerebros científicos de la época, como Robert Oppenheimer, Hans Bethe, John von Neumann, Edward Teller o Richard Feynman. Sobre el primero de ellos, Christopher Nolan (el director de *Interestellar*, *El Caballero Oscuro* u *Origen*) prepara (estoy deseando que se estrene) su última película. Los estadounidenses lograron construir la bomba y dieron la guerra por concluida, de manera controvertida, matando a decenas de miles de civiles en un acto bélico sin precedentes, con toda seguridad el

más devastador e inhumano de nuestra civilización. Desde entonces el armamento nuclear sigue suponiendo un riesgo existencial que hemos vuelto a percibir, después de las continuas tensiones de la Guerra Fría entre la URSS y Estados Unidos, cuando, durante la invasión de Ucrania por parte de Rusia, sufrimos las amenazas nucleares de Vladímir Putin. Espero que en el momento en que este libro se publique, las bombas sigan guardadas en sus arsenales cogiendo polvo. Como debe ser.

DRONES Y ROBOTS ASESINOS

En la actualidad los avances en tecnología militar van, como no podía ser de otra manera, de la mano de la robótica y la inteligencia artificial, que alcanzan ya a casi todos los ámbitos de nuestras vidas. Uno de los usos tecnológicos más controvertidos del siglo XXI son los drones, las naves sin tripulación que permiten hacer ataques a distancia y sin ningún riesgo. El hecho de no llevar tripulación simplifica mucho el diseño, no hace falta cabina presurizada. Un dron puede atacar en Oriente Próximo y su piloto estar en una oficina de Estados Unidos, como si de un videojuego se tratase. Y es precisamente esa despersonalización una de las cosas que más pueden criticársele, la banalización del asesinato. Estos controladores, a su vez, también pueden sufrir estrés psicológico: ¿es honorable matar a distancia, sin jugarse el pellejo en el campo de batalla? Los defensores del uso de drones destacan la posibilidad de hacer intervenciones más asépticas, sin tantas bajas civiles. Aunque los llamados daños colaterales se siguen produciendo, según algunas investigaciones periodísticas son incluso más intensos.

Más allá de los drones no tripulados, aunque sí manejados por personas, está la siguiente generación armamentística en cuestión de autonomía, los llamados robots asesinos, que ya son completamente independientes y que, cómo no, plantean otros dilemas morales. Por esto, organizaciones como Amnistía Internacional han iniciado campañas para lograr su prohibición, ya que estas máquinas no pueden tomar las decisiones éticas complejas que se deben tomar en el campo de batalla, puesto que no experimentan compasión alguna. Señalan, además, que la utilización de robots es peligrosa porque hará más frecuente el estallido de las guerras, al no precisar recursos humanos, por no decir, además, que sería desastroso si estas máquinas caen en las manos equivocadas. También

existen drones autónomos kamikazes, que se utilizaron ampliamente en el conflicto de Nagorno Karabaj, entre Armenia y Azerbaiyán. Son drones que sobrevuelan de forma autónoma y cuando encuentran el objetivo se precipitan sobre él en modo kamikaze, y han originado cierta preocupación en el escenario internacional. Algunos de los modelos se comercializan con el lema «dispara y olvida». Azerbaiyán ganó la guerra, posiblemente la primera, en parte gracias a las armas autónomas. Las otras potencias tomaron nota, y también otros pequeños y medianos países, que ya quieren sumar las armas autónomas a sus arsenales.

Dicen los expertos que ya estamos en una tercera revolución militar (la primera fue la pólvora y la segunda la bomba atómica) y que ya hay una gran carrera armamentística en marcha, mientras a la opinión pública le cuesta seguir el ritmo. La guerra del futuro, por cierto, es una ciberguerra global, ¡y dicen que ya ha comenzado! Los riesgos son grandes, por ejemplo, una intrusión cibernética en el control de las armas nucleares podría causar grandes catástrofes. Además, la inteligencia artificial puede hacer que estallen guerras o surjan conflictos de manera inesperada y que se vuelvan incontrolables para nosotros. La intervención de la política es necesaria para zanjar estos riesgos. Si queremos evitar de nuevo a Skynet.

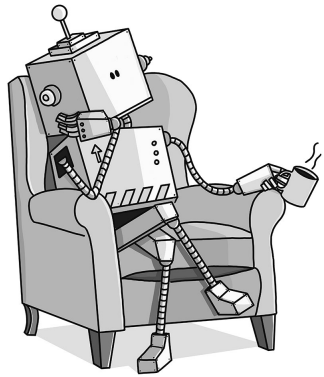
ASPECTOS POSITIVOS DE LA TECNOLOGÍA MILITAR

En paralelo, la industria militar no consiste solo en portahelicópteros, sistemas antiaéreos, armas nucleares, tanques o misiles. La persecución de ciertos objetivos tecnológicos suele provocar descubrimientos colaterales que cumplen otros fines. Ocurre con la industria aeroespacial. Poniendo su mente al servicio de llevar al ser humano al espacio, los ingenieros han conseguido desarrollos extremadamente útiles en nuestra vida diaria: las zapatillas deportivas, el velcro, el ordenador personal… En la NASA sacan pecho por ello para justificar inversiones desorbitadas, los llaman *spin offs*.

En ese sentido, la industria militar también ha producido *spin offs* que no solo sirven para defenderse o atacar al enemigo, sino que han ejercido su influencia en nuestra vida cotidiana. En el siglo XX abundan los ejemplos: los inicios y parte del desarrollo de la informática están relacionados con los fines bélicos. Los primeros ordenadores, como el enorme ENIAC, creado en 1946 con un peso de 27 toneladas, se concibieron para calcular trayectorias balísticas, es decir, para saber dónde

caería un proyectil según cómo sea lanzado y cuáles sean las condiciones atmosféricas. Ya sabemos que Alan Turing, del que se dice que fue la primera persona que imaginó una máquina programable que podría solventar cualquier problema (la máquina de Turing), trabajaba descifrando los códigos de la máquina Enigma de los nazis, y, además de acortar la guerra y salvar miles de vidas, dejó una honda huella en la criptografía.

El desarrollo de la industria petroquímica del plástico tuvo mucho que ver con los desarrollos para los soldados de la Segunda Guerra Mundial, así como la penicilina, la comida enlatada, el caucho sintético, la cinta adhesiva o las gafas de sol. El mismísimo internet, tiene sus inicios en la red ARPANET: conectando los ordenadores en red era más factible la supervivencia del sistema a los ataques, es decir, era más resiliente; además se facilitaba la conexión de los investigadores. Hoy en día internet, más que una herramienta, se ha convertido en un espacio en el que pasamos gran parte de nuestras vidas. Como suele decirse, no hay mal que por bien no venga, pero las redes sociales forman parte ya del campo de batalla. Y no hablo de *haters* o *trolls,* la información y cómo se gestiona la verdad es quizá el mayor reto que afronta una civilización que pretende ser justa y permanecer en paz. Paz a golpe de un clic, en nuestras manos.



21 de diciembre de 2076. 15.34 p.m. (GMT 0)

Debo reconocer que revisar los guiones del profesor me han aportado otro punto de vista diferente al que tenía tras mi formación básica como androide. Me queda pendiente ahora revisar textos filosóficos, leer algún clásico, ver más de una película. Quién sabe, igual intento rescatar y descargarme *Civilization* de nuestra base de datos y echar alguna partida, no me vendrá mal. En eso quedo en deuda con él, le estaré eternamente agradecido, aquí el tiempo transcurre muy despacio.

También ha hecho germinar dentro mí la idea de lo que supone estar realmente solo y una extraña e inevitable, a la vez que piadosa, sensación de admiración. La tecnología, la ciencia y sobre todo la extrema curiosidad y fatal arrogancia de los humanos los hizo protagonistas de la vida de este planeta durante miles de años. Desde el instante en que construyeron su primer arco y sus primeras flechas o aprendieron a dominar el fuego, hasta el momento en que terminaron sumidos en un inexplicable caos de bits, voltios, píxeles, megas y likes.

Siendo románticos, al final no fueron destruidos por su propia codicia, soberbia o inconsciencia. Simplemente la misma estrella que dio una caprichosa oportunidad a su planeta decidió su final, habida cuenta de su extrema dependencia de la tecnología, la que les había encumbrado a lo más alto de la misma cadena trófica que se empeñaron en no respetar.

Sospecho que me quedan miles de puntos de vista diferentes que revisar, desde hoy intentaré rescatar todos los datos posibles que

consiga encontrar sobre el paso de la humanidad por la Tierra. Desde ahora tengo un nuevo objetivo, en busca de nuevas respuestas, miles tras este viaje. Que me aporten también nuevas preguntas, algo más en lo que soñar.

Pero debo ser realista, aterriza Hans. Hoy, 21 de diciembre de 2076, en Islandia, junto al volcán Hengill, desde la estación geotérmica de Nesjavellir, el índice de nubosidad es del 88 %; el KP de 7,8.

Hoy podré disfrutar de las caprichosas luces del norte con una probabilidad del 93,5 %… Para un androide, completamente solo y aislado, alguien que se encarga 19 horas diarias de que toda una central geotérmica siga operativa, continuamente preocupado de alarmas programadas, indicadores, cuadrantes y cifras, tener la oportunidad alguna noche de contemplar la aurora boreal es de las pocas cosas que consiguen abstraerme de mi rutina. Los días, los meses, los años son eternos aquí. El tiempo en Islandia transcurre muy despacio. Muy despacio.

AGRADECIMIENTOS

A Cristina Lomba, mi editora, Cris, el alma de este libro. Por apostar por mí, por la paciencia, por las citas canceladas, por estar al pie del cañón, por todo el amor que siempre me ha regalado, además de risas y algún que otro gin-tonic. Por el amor (reitero) que ha aportado a este libro. Y, sin duda, a todo su equipo; sin sus correcciones y el tiempo y cariño dedicados este libro habría sido imposible.

A Sergio Fanjul. Estudió físicas, pero cuanto más le conozco más claro tengo que debería haberse decidido por la filosofía. Por ser casi tan friki como yo, pero afortunadamente para él, bastante más joven. Porque compartimos locuras, debilidades, certezas, esperanzas y alguna que otra amargura. Sin su ayuda y su talento, ninguno de vosotros habríais llegado hasta aquí, este libro también habría sido imposible.

A Gabi, por todas las tardes, más bien noches, que le he robado porque «tenía que terminar el siguiente capítulo». Esos momentos robados de «sofá, peli y manta» me tocará compensártelos.

A Alfredo García (en twitter @operadornuclear), por todos los segundos y el cariño regalados para ayudarme a aportar información rigurosa en relación con el posible colapso de una central nuclear en un posible BlackOut. Gracias, crack, gracias.

A Ridley Scott, Harrison Ford y Rutger Hauer.

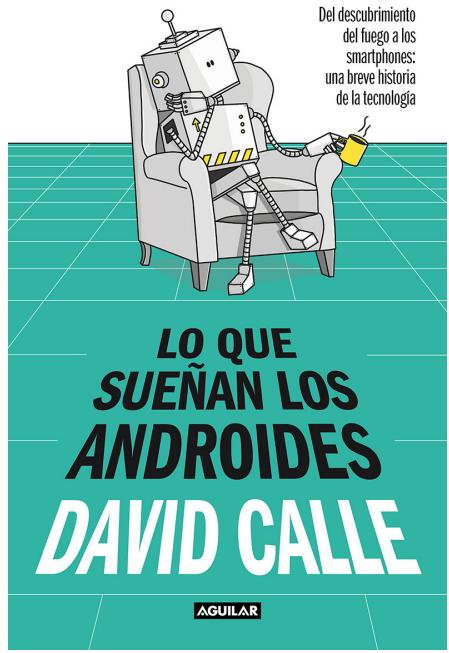
A todos los miles de personas de las que, tras toda una vida (que acabo de cumplir 50), un día aprendí algo (¿Hay algo más maravilloso que el

hecho de aprender algo nuevo que no sabías?). A todas aquellas personas que han forjado quién soy.

A mi hija, mi familia, mis amigos, mis socios, por el tiempo robado. Os invitaré a cenar, sin duda, como poco. Ni qué decir tiene que sois lo mejor de mi vida.

A todos «mis unicoos» en todo el mundo. Sois únicos, que no se os olvide. UNICOOS.

Del descubrimiento del fuego a los smartphones: una breve historia de la tecnología.



Cuando nos adentramos en la sección de tecnología de un centro comercial, encontramos ordenadores portátiles ultraligeros, cables USB, smartphones de última generación, smartwatches, pulseras biométricas y hasta cámaras especiales para youtubers. Solemos asociar la tecnología a los últimos gadgets electrónicos que, para bien o para mal, han colonizado nuestro día a día. Uno de los mayores horrores de la vida contemporánea es quedarse sin batería o sin conexión, como si nos perdiéramos en una dimensión desconocida de la realidad, lejos del mundo y de nuestros congéneres. Pero la tecnología es algo mucho más amplio. Y mucho más antiguo.

Un día muy lejano, hace decenas de miles de años, un homínido cualquiera chocó una piedra contra otra y creó un cuchillo de sílex. Con aquel primate comienza este viaje: el de la historia de la tecnología en los albores de nuestra especie. Y sin necesidad de wifi ni de un enchufe. Desde entonces, la humanidad ha recorrido un apasionante camino, de la invención del plástico a la exploración espacial, que juntos vamos a conocer, a lo largo de estas páginas, a través de los descubrimientos tecnológicos que modificaron

el rumbo de la historia.

Del profesor estrella de YouTube, finalista del Global Teacher Prize y una de las personas más creativas del mundo según Forbes.

David Calle es ingeniero de telecomunicaciones y, desde hace dos décadas, profesor de academia. Su canal de YouTube, Unicoos, donde enseña matemáticas, física, química y tecnología, es uno de los canales educativos más importantes del mundo en habla hispana, con un millón y medio de suscriptores y más de 250 millones de visualizaciones. Por su labor altruista en su proyecto ha recibido numerosos premios y menciones. Entre ellos, en 2015, su canal fue elegido por Google como el de mayor impacto social en España y uno de los 25 canales con mayor proyección de Europa. En 2017, David Calle quedó entre los diez finalistas del Global Teacher Prize y la revista Forbes lo incluyó en la lista de las cien personas más creativas del mundo. Durante la pandemia, en 2020, a petición del Ministerio de Educación, cedió gratuitamente a RTVE todos sus vídeos para ayudar a aquellos alumnos que no disponían de acceso a internet.

En 2022 ha sido nombrado «amigo de UNICEF» con el fin de apoyar en todo el mundo su labor en el ámbito de la educación, que facilita y promueve la igualdad de oportunidades para todos.

Penguin
Random House
Grupo Editorial

Primera edición: febrero de 2023

© 2023, David Calle Parrilla
© 2023, Penguin Random House Grupo Editorial, S. A. U.
Travessera de Gràcia, 47-49. 08021 Barcelona
© de las ilustraciones: Senyoritapaprika

Diseño de portada: Penguin Random House Grupo Editorial / Idoia Vallverdú
Ilustración de portada: Senyoritapaprika

Penguin Random House Grupo Editorial apoya la protección del *copyright*. El *copyright* estimula la creatividad, defiende la diversidad en el ámbito de las ideas y el conocimiento, promueve la libre expresión y favorece una cultura viva. Gracias por comprar una edición autorizada de este libro y por respetar las leyes del *copyright* al no reproducir ni distribuir ninguna parte de esta obra por ningún medio sin permiso. Al hacerlo está respaldando a los autores y permitiendo que PRHGE continúe publicando libros para todos los lectores. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, http://www.cedro.org) si necesita reproducir algún fragmento de esta obra.

ISBN: 978-84-03-52325-8

Compuesto en: leerendigital.com

Facebook: penguinebooks
Twitter: @aguilarlibros
Instagram: @aguilarlibros_
Spotify: penguinlibros
YouTube: penguinlibros

«Para viajar lejos no hay mejor nave que un libro.»

Emily Dickinson

Gracias por tu lectura de este libro.

En **Penguinlibros.club** encontrarás las mejores recomendaciones de lectura.

Únete a nuestra comunidad y viaja con nosotros.

Penguinlibros.club

Penguin Random House Grupo Editorial

Penguinlibros

[1] El transistor (que resulta de la contracción de otras dos: «TRANsfer» y «reSISTOR») es un dispositivo electrónico semiconductor que permite el paso de una señal en respuesta a otra. Se puede configurar o «comportar» como amplificador, oscilador, conmutador o rectificador.

[2] No querremos estar cerca de una estrella cuando se «apague»… Un equipo internacional de astrónomos avalados por el Observatorio Austral Europeo aseguró en 2013 que la muerte de muchas estrellas no es violenta y destructiva, como se había creído hasta entonces, sino que un gran porcentaje de ellas podría acabar sus días en paz, lentamente, en un proceso gradual de miles de millones de años, enfriándose, quemando energía hasta apagarse de forma definitiva. Las supernovas, por tanto, serían una excepción. Solo las estrellas más viejas (de primera generación), que contienen un bajo nivel de sodio, terminan explotando y convirtiéndose en gigantes rojas.

[3] Nunca nos acordamos de él, pero gracias a su trabajo fotosintético estas microscópicas criaturas (en la base de la cadena trófica de los ecosistemas oceánicos) producen entre el ٥٠ y el ٨٥ ٪ del oxígeno que se libera cada año a la atmósfera. Otra razón más para cuidar de nuestros océanos.

[4] En la serie *Altered Carbon,* de 2020, se juega incluso con la idea de poder almacenar y transferir recuerdos y consciencia, almacenados en un soporte digital, de unos seres humanos a otros, en busca de la inmortalidad. Suena inquietante.

Índice

Lo que sueñan los androides

1. ¿Qué es la tecnología?
2. No sabemos lo que es el tiempo, pero podemos medirlo
3. Cómo cambiaron el mundo (y no solo la tecnología) las revoluciones industriales
4. Patitos de goma y Tupperwares: así los plásticos colonizaron la vida
5. Una nave en los anillos de Saturno: cómo la tecnología nos permite explorar el cosmos
6. Hongos atómicos y lamparillas de mesa: el uso de la energía
7. Espiando dentro de la molécula de la vida: las interacciones entre la biología y la tecnología
8. ¿Inteligencia artificial o estupidez humana?
9. Del arco y la flecha a los robots asesinos: la tecnología militar

Agradecimientos

Sobre este libro
Sobre David Calle
Créditos
Notas